

Análise da Eficiência Energética num Estabelecimento de Ensino

Bernardino Manuel Neves Moreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Electrotécnica
Sistemas Eléctricos de Energia

Orientador: Professor Doutor Manuel Gradim de Oliveira Gericota

Júri:

Presidente: Professora Doutora Teresa Alexandra Nogueira

Vogais: Professor Doutor António Carvalho de Andrade

Porto, Outubro 2012

Aos meus pais e à minha esposa.

Este trabalho é o reflexo do vosso apoio.

Agradecimentos

A vida é repleta de etapas e desafios. Neste momento sinto-me bastante orgulhoso por estar a terminar esta fase da minha vida, mas ainda mais feliz, por ser o início de outras.

Um honesto e sincero agradecimento ao orientador deste meu trabalho, Professor Doutor Manuel Gericota, pela total disponibilidade que sempre demonstrou para que eu conseguisse alcançar o que me propus... para ele um Bem Haja.

Para chegar a esta etapa do mestrado, foi necessário percorrer um caminho, e esse caminho foi composto pelas diversas cadeiras e respetivos professores que de uma forma ou de outra contribuíram para esta tese. Também para eles fica uma palavra de apreço.

Aos meus queridos pais por acreditarem em mim e principalmente pela força que me transmitem diariamente em todos os desafios da minha vida. O vosso contributo foi essencial para chegar até aqui... Obrigado por serem assim.

À minha companheira, amiga e esposa, pela confiança que sempre depositou em mim, e pelas palavras encorajadoras que em determinados momentos desta tese se traduziram em mim, em mais empenho e dedicação. Esta etapa não é só minha mas também dela, pois as muitas horas de trabalho despendidas nesta tese são reflexo da minha ausência para com ela.

Resumo

Devido à crescente preocupação com a racionalização energética, torna-se importante adequar os edifícios à sua utilização futura, procedendo à escolha acertada de materiais e técnicas a utilizar na construção e/ou na remodelação. Atualmente, com o desenvolvimento tecnológico, os serviços profissionais e os materiais existentes ao dispor dos projectistas e construtores permitem a implementação eficaz de soluções de elevado impacto a nível da eficiência energética dos edifícios de uma forma acessível e não muito dispendiosa. Nesta área, a regulamentação é essencial para controlar e catalogar energeticamente os sistemas, mitigando o seu sobredimensionamento e consequentes desperdícios, de forma a contribuir eficazmente para as melhorias ambientais e económicas pretendidas.

Sem dúvida, que a preocupação consiste em tornar a médio/longo prazo o investimento numa poupança acrescida, proporcionando os mesmos níveis de conforto. As técnicas de climatização e todo o equipamento que está associado têm um peso importante nos custos e na exploração ao longo do tempo. Os sistemas de gestão técnica só poderão tirar partido de toda a estrutura, tornando-a confiável, se forem corretamente projetados.

Com este trabalho, pretende-se sensibilizar o leitor sobre as questões práticas associadas ao correto dimensionamento de soluções que contribuam para a eficiência energética dos edifícios, exemplificando-se com um caso de estudo: um edifício de um centro escolar construído obedecendo aos requisitos listados no programa de renovação do parque escolar que o governo incentivou. A sensibilização passa por propostas objetivas de soluções alternativas que poderiam ter sido adotadas ainda na fase de projeto do caso de estudo, tendo em conta os custos e operacionalidade dos sistemas e o local em que se encontram, e que poderiam ter contribuído para melhorar a eficiência energética de todo o edifício, bem como por soluções transversais que se poderiam aplicar em outras situações. Todas as sugestões passam pela simplificação, com o objetivo de contribuir para uma melhor racionalização a curto e longo prazo dos recursos disponibilizados.

Palavras chave

Eficiência energética; RCCTE; RSECE; GTC; AVAC; *webserver*;

Abstract

The buildings sector represents 40% of the European Union's total energy consumption. Reducing energy consumption in this area should be a priority. Therefore, it is important to assure that, during construction and / or remodelling, materials and techniques are carefully chosen taking into account the building's future use. Recent technological advancements allows for the existence of a full range of new materials available to designers and builders. Highly skilled professionals are able to implement effective solutions with high impact on the overall energy efficiency of a building at affordable prices. Undoubtedly, the main goal is to achieve at medium / long term the return of the investment without compromising comfort levels.

Regulations issued by governmental bodies are also an essential mechanism for defining and limiting the use of energy equipment by mitigating oversize, and therefore waste, contributing towards achieving effective economic and environmental improvements.

HVAC equipments and techniques usually bear important initial and long term exploitation costs. Sustainability will only be achieved if the whole system is properly design. Otherwise, its management and maintenance will be unfeasible.

The purpose of this work is to make the reader aware of the practical issues associated with the correct design of HVAC solutions, able to create truly energy efficient buildings. A school center is used as a case study not only to show the different design and implementation steps needed to correctly install and run a HVAC system, but also to enable the identification of design and implementation errors, proposing more efficient alternatives to the options followed. The alternatives are proposed always bearing in mind simplification and cost effectiveness without compromising the ultimate goal –energy rationalization and long term sustainability.

Keywords:

Energy efficiency; RCCTE; RSECE; GTC; HVAC; *webserver*;

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. ÂMBITO	3
2. REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS (RCCTE)	5
2.1. REQUISITOS ENERGÉTICOS	6
2.2. APLICAÇÃO	8
2.3. PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO	9
2.3.1 COEFICIENTE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL - U	9
2.3.2 COEFICIENTE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR - ψ	10
2.3.3 INÉRCIA DO EDIFÍCIO - I_T	12
2.3.4 FATOR SOLAR DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS	14
2.3.5 TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR - R_{PH}	16
2.4. NECESSIDADES DE AQUECIMENTO - N_{IC}	17
2.4.1 PERDAS DE CALOR POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS - Q_T	19
2.4.2 PERDAS DE CALOR RESULTANTES DA RENOVAÇÃO DE AR - Q_V	19
2.4.3 GANHOS DE CALOR - Q_{GU}	19
2.4.4 LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO - N_I	23
2.5. NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO - N_{VC}	24
2.5.1 GANHOS TOTAIS BRUTOS - Q_G	24
2.5.2 LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO - N_V	27
2.5.3 NECESSIDADES PARA PREPARAÇÃO DA ÁGUA QUENTE SANITÁRIA - N_{AC}	27
2.5.4 LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PARA PRODUÇÃO DE AQS	31
2.5.5 NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA - N_{TC}	31
2.5.6 LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES GLOBAIS ANUAIS DA ENERGIA PRIMÁRIA - N_T	32
3. REGULAMENTO DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS DE CLIMATIZAÇÃO EM EDIFÍCIOS (RSECE)	33
3.1. REQUISITOS DE APLICAÇÃO ENERGÉTICA	34
3.2. MANUTENÇÃO DA QAI	35
3.3. CLIMATIZAÇÃO	37

3.3.1	LIMITAÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA.....	37
3.3.2	REQUISITOS DE QUALIDADE.....	38
3.3.3	MANUTENÇÃO	43
3.3.4	AUDITORIAS	44
4.	CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA	45
4.1.	SIMULAÇÃO DINÂMICA	46
4.1.1	SIMULAÇÃO DINÂMICA DETALHADA.....	47
4.1.2	SIMULAÇÃO DINÂMICA SIMPLIFICADA.....	47
4.1.3	INDICADOR DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – IEE	48
4.1.4	PLANO DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA – PRE	49
4.1.5	VIABILIDADE ECONÓMICA	50
4.2.	CLASSES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO	50
4.2.1	CLASSIFICAÇÃO NO RCCTE.....	51
4.2.2	CLASSIFICAÇÃO NO RSECE.....	51
5.	CASO DE ESTUDO.....	53
5.1.	APRESENTAÇÃO DO EDIFÍCIO	54
5.2.	SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....	55
5.3.	REQUISITOS	57
5.4.	GESTÃO TÉCNICA CENTRALIZADA – GTC.....	57
5.5.	CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS	59
5.5.1	LISTA DE PONTOS	60
5.5.2	DESCRIÇÃO DA GTC	61
5.6.	CONDIÇÕES FACE AO CADERNO DE ENCARGOS	69
5.6.1	POTÊNCIAS DE AQUECIMENTO	70
5.7.	SUGESTÃO DE MELHORIAS	76
5.7.1	RECURSOS HUMANOS.....	76
5.7.2	INTERAÇÃO COM O SISTEMA	77
5.7.3	PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE.....	79
5.7.4	PISO RADIANTE.....	82
5.7.5	VOLUME DE AR VARIÁVEL – VAV	86
5.7.6	GTC - PROGRAMAÇÃO.....	88
6.	CONCLUSÃO	89
7.	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	91
8.	ANEXOS.....	95

Índice de figuras

Figura 2-1: Condições regulamentares	7
Figura 2-2: Zonas climáticas de inverno e verão [ADENE, 2012].	8
Figura 2-3: Perfil de temperatura de uma parede [Thermal Mass, 2012].....	13
Figura 2-4: Efeito da inércia térmica [Rodrigues, et al., 2009]	13
Figura 2-5: Ação da radiação solar sobre um envidraçado.....	15
Figura 2-6: Exemplo de uma unidade de tratamento de ar - UTA	17
Figura 2-7: Balanço de energia.....	18
Figura 2-8: Ganhos solares de um envidraçado [Rodrigues, et al., 2009]	22
Figura 2-9: Exemplo de um Sistema solar	29
Figura 3-1: Exemplo: UTAN com recuperação através de roda térmica.....	39
Figura 3-2: Exemplo: UTAN com recuperação através de bateria térmica	40
Figura 3-3: Exemplo: Aplicações de leitura de consumos energéticos [CARLO GAVAZZI, 2012] [Sauter, 2012].....	40
Figura 3-4: Exemplo: Ligação de um integrador de entalpia [Sauter, 2012].....	41
Figura 3-5: Exemplo: Diagrama de princípio do centro escolar de Ponte da Barca	43
Figura 4-1: Classe energética.....	51
Figura 5-1: Localização construtiva do edifício	54
Figura 5-2: Arquitetura informática	59
Figura 5-3: Unidade de termoventilação e alguns componentes.....	62
Figura 5-4: Válvula modulante do tipo BUN e o respetivo atuador AVM105S [Sauter, 2012].....	64
Figura 5-5: Diagrama de princípio do centro escolar de Ponte da Barca (adapt.)	67
Figura 5-6: Interface via Internet e via consola	69
Figura 5-7: Estrutura Controladores Versus Equipamentos.....	70
Figura 5-8: Exemplo de grafismo no controlador EY-AS 525 da Sauter [Sauter, 2012].....	78
Figura 5-9: Layout/Painel da central da obra.....	79
Figura 5-10: Acumuladores de água da obra.....	80
Figura 5-11: Proposta de um sistema de aquecimento de água	81
Figura 5-12: Termografia da temperatura do piso radiante e dum sistema de ar forçado.....	84
Figura 5-13: Princípio de funcionamento de um ventiloconvector.....	85
Figura 5-14: Princípio de funcionamento de um VAV	86
Figura 5-15: Princípio de funcionamento de um sistema com VAV	87

Índice de tabelas

Tabela 2.1: “Classe de inércia térmica interior” [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]	14
Tabela 2.2: Limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]	23
Tabela 2.3: Valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento - Nv (adap.) [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]	27
Tabela 2.4: Fatores de conversão de energia primária [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]	31
Tabela 2.5: Eficiências nominais de referência para equipamentos de aquecimento e arrefecimento (adap.) [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]	32
Tabela 4-1: Indicador de Eficiência Energética (adapt.) [ADENE, 2012]	49
Tabela 4-2: Indicadores de referência [ADENE, 2012]	50
Tabela 4-3: Classificação energética no âmbito do RCCTE [ADENE, 2012]	52
Tabela 4-4: Escala para edifícios (RSECE) utilizada na classificação energética [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]	52
Tabela 5.1: Zona climática e dados climáticos de referência	53
Tabela 5.2: Caracterização de cada piso	55
Tabela 5.3: Coeficiente de Transmissão Térmica Superficial Máximo para a zona climática I ₃	55
Tabela 5.4: Inércia térmica	56
Tabela 5.5: Requisitos – Caudais [Costeira, 2010]	57
Tabela 5.6: Requisitos – Níveis de CO ₂ por máquina	57
Tabela 5.7: Lista de Pontos – Ponte da Barca [Sauter, 2012]	61
Tabela 5.8: Valores de potência de aquecimento [Costeira, 2010]	70
Tabela 5.9: Valores da potência térmica de simulação [Costeira, 2010]	71
Tabela 5.10: Variáveis referentes às salas do edifício [Costeira, 2010]	72
Tabela 5.11: Caudais volúmicos totais de cada UTV	73
Tabela 5.12: Diferenças de temperatura nas baterias	73
Tabela 5.13: Potência térmica calculada	73
Tabela 5.14: Caudal volúmico para o pavimento radiante	74
Tabela 5.15: Potência térmica calculada para AQS	76

Índice de gráficos

Gráfico 2.1: Fator de utilização dos ganhos térmicos em função da inércia térmica de um edifício [Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]	21
Gráfico 2.2: Contribuição das energias renováveis para o balanço energético [Pordata, 2012].....	30
Gráfico 3-1: Respostas dos sensores de CO ₂ e Qualidade do ar interior [Sauter, 2012] (adapt.)	36
Gráfico 3-2: Exemplo: Resposta da temperatura ambiente de uma divisão.....	42
Gráfico 5-1: Relação entre a abertura da válvula e o sinal da GTC	64
Gráfico 5-2: Exemplo da resposta de um controlo de temperatura (adapt.) [Sauter, 2012]	65
Gráfico 5-3: Resposta da temperatura do piso radiante numa divisão [Ferraro et al., 06]	84
Gráfico 5-4: Resposta da temperatura de um radiador numa divisão [Ferraro et al., 06]	85

Índice de equações

Equação 5.1: Cálculo do coeficiente de transmissão térmica – U	56
Equação 5.2: Cálculo da inércia térmica – It.....	56
Equação 5.3: Cálculo da potência térmica.....	70
Equação 5.4: Cálculo do nº de ocupantes por sala.....	73
Equação 5.5: Cálculo do caudal volúmico mínimo para cada sala	73
Equação 5.6: Cálculo do caudal volúmico mínimo para o sistema de AQS	75

Acrónimos

ADENE – Agência para a Energia

ANSI – *American National Standards Institute*

AQS – Água Quente Sanitária

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CE – Caderno de Encargos

DCR – Declarações de Conformidade Regulamentares

DDC – *Direct Digital Control*

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

EN – Normas Europeias

FF – Fator de Forma

GTC – Gestão Técnica Centralizada

GD – Graus dias

IEE – Índice de eficiência energética

IP – *Internet Protocol*

ISO - *International Organization for Standardization*

LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NP – Normas Portuguesas

PID – *Proportional, Integral and derivative controller*

PQ – Peritos Qualificados

PRE – Plano de Racionalização Energética

PRS – Período de Retorno Simples

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

UTV – Unidade de Termoventilação

VAV – Volume de Ar Variável

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho visa constituir-se como uma fonte condensada de conhecimento sobre os múltiplos aspetos envolvidos na análise da eficiência energética de edifícios, através da abordagem não só dos aspetos teóricos e regulamentares, mas também através da exemplificação da sua aplicação prática a um caso de estudo.

A abordagem baseada num caso de estudo permite perceber não só os aspetos teóricos, mas sobretudo a dificuldade na sua implementação prática, devido a uma série de problemas, como o do escalonamento das várias fases da obra e a não planificação atempada dos múltiplos aspetos envolvidos entre os intervenientes, e de cujo trabalho deveria resultar um todo coerente que permitisse atingir os objetivos de eficiência energética regulamentares e desejáveis. Esses problemas que a simples abordagem teórica não permite abarcar, são na maioria dos casos os que são determinantes para o sucesso da implementação.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Na União Europeia, a energia utilizada nos edifícios é responsável por uma grande parte do consumo total, cerca de 40%, de toda a energia produzida, contribuindo em muito para a emissão de gases de efeito de estufa. A redução deste consumo durante o período de ciclo de vida de um edifício é sem dúvida um grande desafio associado ao ambiente e à economia.

A redução de consumo das energias primárias (por exemplo, carvão, gás natural e petróleo) tem de ser um objetivo para todas as sociedades, pois à medida que estas reservas vão diminuindo de quantidade, torna-se mais difícil a sua extração e, conseqüentemente, aumenta o seu custo. Destas fontes energéticas depende em muito o crescimento sustentável na Europa, pelo que esse aumento torna o desenvolvimento económico mais lento.

Em 2007, a União Europeia acordou com os seus estados membros novas medidas ambientais na redução das emissões de CO₂ e de outros poluentes até 2020, através do programa designado por

“Energy and Climate Change Package” [Policies, 2012]. Este programa, também designado por “20-20-20”, consiste principalmente na redução em 20% das emissões de gases de efeito de estufa em relação aos níveis de 1990, no aumento da produção energética da UE a partir de fontes renováveis em 20% e, por último, na melhoria em 20% da eficiência energética da UE [Policies, 2012]. Em relação à última meta citada, cada estado membro deveria propor planos para atingir esta meta até à data acordada.

Recentemente, soube-se que essa meta não será alcançada, tendo já a União Europeia proposto uma nova diretiva de forma a focalizar esforços na renovação de um mínimo de edifícios públicos e impondo auditorias energéticas a grandes empresas consumidoras [Policies, 2012]. Esta diretiva incentiva o uso de fundos comunitários para este fim.

Em Portugal, a ineficiência energética existente nos edifícios mostra sinais preocupantes relacionados com a economia, sociedade e ambiente. A dependência energética do exterior traduz-se numa fatura bastante pesada para a economia, sendo, por isso, obrigatoriamente necessário adotar formas de exploração e construção baseadas na eficiência energética e na difusão das energias renováveis.

O consumo energético nos edifícios, para aquecimento, iluminação, etc, é responsável pela emissão de meia dezena de toneladas de CO₂ por ano/*per capita* [ADENE, 2012], pois uma parte da energia elétrica gerada tem origem em centrais termoelétricas (sobretudo a carvão). Esta ineficácia é devida a diversos fatores, tais como: a má aplicação de materiais e soluções estruturais nas construções; o tipo de isolamento ou a sua inexistência; o tipo de equipamentos e a sua coerência de utilização (hábitos errados).

Há sensivelmente 20 anos atrás, as formas de construção não eram tratadas como uma causa de ineficiência. Após a modernização das soluções e o aumento das competências profissionais, a construção passou a ter algum cuidado com as soluções construtivas adotadas, tendo em conta o objetivo e as futuras condições de utilização dos edifícios.

Num edifício construído nessa altura, a contribuição que o cidadão comum poderá dar para reduzir o consumo energético, pode passar por alterar hábitos de utilização e implementar sistemas de interrupção energética, tais como: o uso de relógios temporizadores para diversos fins; o desligar por completo as luzes do exterior a partir de uma determinada hora; ou até mesmo o desligar de circuitos que contenham equipamentos que estão em *standby*. Um outro fator bastante importante é a seleção de equipamentos com classes energéticas elevadas.

A utilização e aplicação errada de sistemas de climatização leva a desperdícios energéticos. Por isso, neste tipo de edifícios, é necessário por vezes corrigir algumas deficiências estruturais, tais como

reduzir as frinchas existentes nas janelas e portas, para que o ar climatizado não se misture com as adversidades externas que se quer diminuir no interior do edifício.

O aumento da eficiência dos edifícios passa por uma regulamentação coesa, simplificada e direcionada para o conceito de eficiência nas suas várias vertentes (económicas, sociais e ambientais). As formas de construção evoluíram bastante a partir do momento em que em 1990 a regulamentação surgiu, introduzindo aspetos térmicos e energéticos e impondo requisitos mínimos tendo em conta as envolventes. De forma a controlar os consumos bem como a correta adoção de soluções construtivas, surgiram em 2006 dois novos regulamentos:

- Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril – Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios –RCCTE;
- Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril – Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios –RSECE.

os quais determinam limites para determinados parâmetros das características energéticas de um edifício.

Em projeto, a regulamentação é o instrumento mais utilizado no dia-a-dia, mas quando a ideia sai do papel, ou por outras palavras, quando a obra começa a erguer-se, nem sempre as regras são cumpridas. Existem vários fatores para isto acontecer, mas o que mais sobressai é o facto de não haver uma responsabilidade presencial de quem idealizou o projeto.

O trabalho elaborado visa sugerir opções de melhoria em torno de aplicações implementadas no caso de um estabelecimento de ensino de Ponte da Barca, em que na prática a sua consistência lógica e objetiva fica muito àquém das expectativas eficazes em termos energéticos. Este conceito não deve nem pode ser “medido” apenas a longo prazo, devendo-se ter muito em conta a adoção de sistemas práticos, não dispendiosos, no início da obra.

1.2. ÂMBITO

Com base nos factos anteriormente expostos e devido à importância da racionalização energética, principalmente em edifícios públicos, o objetivo principal desta tese consiste na proposta de sistemas práticos e mais económicos em que a facilidade de utilização e perceção desses sistemas também está presente.

O edifício que serve como caso de estudo, um estabelecimento de ensino de Ponte da Barca, tem um sistema de gestão técnica (GTC) implementado pelo autor da tese. Durante o seu desenvolvimento teve-se a possibilidade de detetar certos pormenores que o projetista idealizara, mas aos quais, na prática, o sistema não responde da melhor forma. Alguns dos aspetos mencionados neste trabalho só

foram perceptíveis porque a implementação da GTC é a última atividade a ser entregue, depois de todos os elementos a ela associados estarem testados na obra pelo respetivo fornecedor.

Para alcançar o objetivo proposto, houve a necessidade de conjugar conteúdos de teor energético relacionado com edifícios:

- Estudo dos regulamentos em vigor para os edifícios;
- Cálculo para justificar determinados sistemas implementados;
- Recolha de informações e aplicações associadas a melhorias praticadas neste sector;
- Experiência profissional vivida em obras na implementação da GTC.

Um dos fatores que motivou o autor para a elaboração deste trabalho, foi o fator económico associado à reestruturação do parque escolar Português. Neste campo poder-se-ia ter implementado uma visão mais humilde e não tão inovadora, mais económica mas com resultados idênticos ou até superiores a nível da eficiência energética desses edifícios.

2. REGULAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS EDIFÍCIOS (RCCTE)

O Protocolo de Quioto estabelece medidas com o objetivo de reduzir consumos energéticos e respetivas emissões de gases que contribuem para o aquecimento global. Portugal foi um dos estados signatários do protocolo que se comprometeu a satisfazer um determinado número de compromissos ambientais e energéticos. No âmbito da União Europeia, existem também compromissos impostos aos estados membros de forma a fazer a aplicação e atualização periódica de regulamentos para o melhoramento do comportamento térmico dos edifícios.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) é um instrumento regulamentar que em Portugal impõem requisitos ao projeto de novos edifícios e de grandes remodelações, de forma a salvaguardar as condições de conforto térmico sem necessidades excessivas de energia, quer no inverno, quer no verão [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

O RCCTE define, em função da sua envolvente, a modelização do comportamento térmico de um edifício, abrangendo edifícios residenciais e ou de serviços. Em paralelo, este regulamento visa garantir a minimização de efeitos patológicos na construção, derivados das condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente [ADENE, 2012].

A imposição de limites aos consumos leva ao estabelecimento de barreiras ambientais de referência para o cálculo de consumos energéticos nominais, segundo padrões típicos relacionados com:

- A temperatura ambiente;
- A ventilação para a renovação de ar;
- A qualidade do ar interior (QAI);
- Os novos materiais e tecnologias aplicados na construção.

Este regulamento utiliza valores estatísticos de referência, uma vez que, e naturalmente, não existem consumos padrões, pois a existência de equipamentos ou de sistemas instalados não implica forçosamente a sua utilização contínua.

Os utilizadores destes edifícios tiram proveito de melhores condições de conforto a custos reduzidos. O facto da instalação de painéis solares ser obrigatória pelo regulamento contribuiu para a diminuição da poluição e da dependência energética do nosso país [ADENE, 2012].

2.1. REQUISITOS ENERGÉTICOS

A caracterização regulamentar de um qualquer edifício é regida através dos seguintes índices térmicos:

- Nic – Necessidades nominais anuais de energia útil para o aquecimento;
- Nvc – Necessidades nominais anuais de energia útil para o arrefecimento;
- Nac – Necessidades nominais anuais de energia para a produção de águas quentes sanitárias (AQS);
- Ntc – Necessidades globais de energia primária¹.

Para que o edifício possa ser considerado regulamentar, os índices citados anteriormente não podem ultrapassar os respetivos limites:

- Ni – Limite das necessidades nominais anuais de energia útil para o aquecimento;
- Nv – Limite das necessidades nominais anuais de energia útil para o arrefecimento;
- Na – Limite das necessidades nominais anuais de energia para a produção de AQS;
- Nt – Limite das necessidades globais de energia primária.

A figura 2-1 traduz as condições anteriormente descritas de uma forma simplificada.

Para a garantia do conforto térmico e QAI e para o cálculo da energia necessária para a produção de AQS, os índices acima referidos são calculados com base em valores de referência regulamentados²:

- Estação Aquecimento: 20 °C;
- Estação Arrefecimento: 25 °C e 50 % (humidade relativa).

¹ Energia Primária pode ser proveniente de fontes de energia renovável, fóssil, mineral, etc. A energia primária sofre transformações até chegar à energia final. Por exemplo, o gás (energia primária) pode produzir calor (energia final). A soma da energia final com todas as outras subdivisões da energia que estão presentes no processo de transformação corresponde à energia primária.

² Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Artigo 14º - Condições interiores de referência.



Figura 2-1: Condições regulamentares

De acordo com o Dec. Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, entende-se como estação aquecimento o período do ano que medeia entre o primeiro período de dez dias posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C, e o último período de dez dias anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]. Do mesmo modo, entende-se como estação arrefecimento o conjunto dos quatro meses de verão (Junho, Julho, Agosto e Setembro) em que é maior a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas que possam exigir arrefecimento do ambiente em edifícios com pequenas cargas internas [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

Os consumos referentes à climatização são dependentes da zona em que se insere o edifício e da altitude do local onde se localiza o edifício. Devido a esse contexto climático, o regulamento atribui três zonas climáticas:

- verão: V1, V2 e V3;
- inverno: I1, I2 e I3.

A figura 2-2 apresenta o território nacional dividido por zonas dependendo da estação convencional.

Consoante a zona climática, o regulamento estabelece as seguintes características principais:

- O nº de graus-dias (GD);
- A temperatura exterior de projeto (°C);
- E a duração (meses) da estação de aquecimento (M) entre outros dados.

Estes dados são importantes para a definição e caminhos a utilizar na conceção ou remodelação dos edifícios independentemente do tipo de fração.

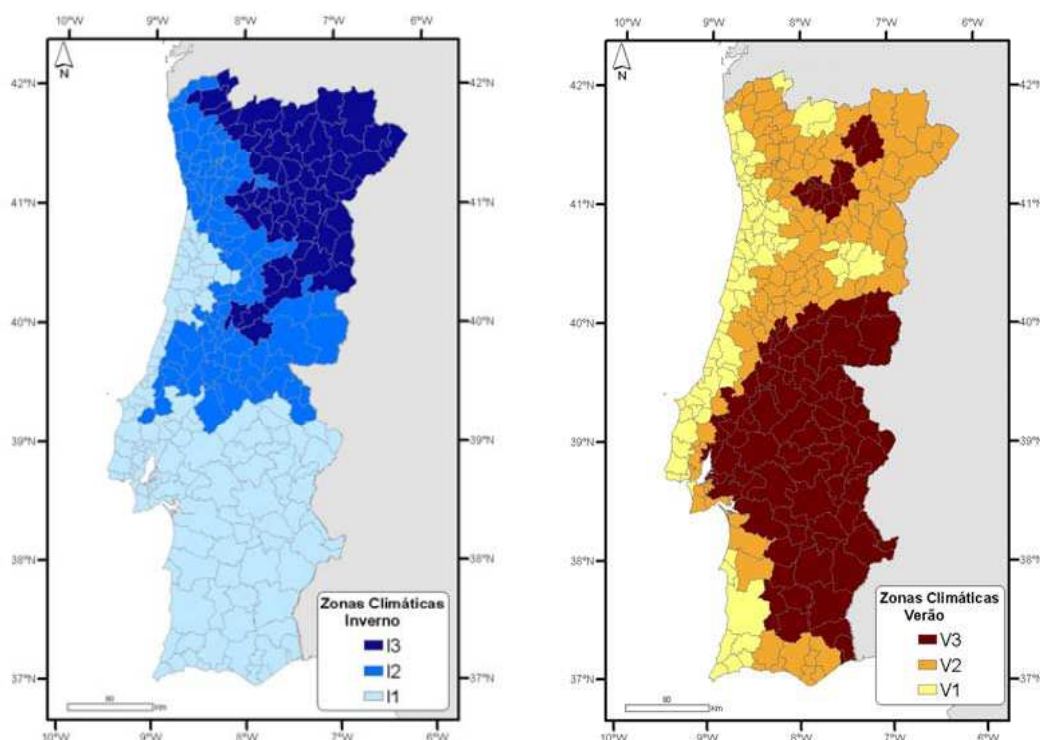


Figura 2-2: Zonas climáticas de inverno e verão [ADENE, 2012].

2.2. APLICAÇÃO

Sem que tal deva levar a um dispêndio excessivo de energia, o RCCTE estabelece uma série de exigências de conforto térmico relativamente ao aquecimento, arrefecimento e à qualidade do ar interior (ventilação), tendo em vista uma melhor avaliação da qualidade térmica do edifício.

Inicialmente, as exigências são abordadas de uma forma geral, passando-se de seguida para aspetos mais específicos do caso de estudo apresentado neste trabalho.

O referido regulamento é aplicável a cada uma das frações autónomas dos edifícios de habitação e a edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizada, com área útil inferior a 1000 m², ou com sistemas de climatização de potência inferior a 25 kW. Este valor limite corresponde ao maior valor das potências de aquecimento ou arrefecimento. O regulamento é aplicável a cada uma das frações autónomas³, novos edifícios de habitação, novos edifícios de serviços sem sistemas de

³ Fração autónoma, corresponde a cada uma das partes do edifício que contém contador individual de energia, separada do resto do edifício por uma barreira física (parede) [Dec-Lei n.º 236/96 de 1 de Setembro de 2000].

climatização centralizada, a grandes remodelações⁴, alterações da envolvente e alterações nas instalações das águas quentes sanitárias (AQS).

O meio envolvente, a localização e todo o tipo de material/equipamento utilizado nos edifícios estabelece diferentes interações e resultados térmicos.

2.3. PARÂMETROS DE CARACTERIZAÇÃO

A caracterização do comportamento térmico é feita através da correlação de diversos parâmetros e elementos que constituem construtivamente um edifício.

Assim, o cálculo das referidas necessidades é complementado pelos seguintes parâmetros⁵:

- U - Coeficiente transmissão térmica superficial ($W/m^2 \cdot ^\circ C$);
- ψ - Coeficiente transmissão térmica linear ($W/m \cdot ^\circ C$);
- I_t - Classe de inércia do edifício;
- g_{\perp} - Fator solar dos vãos envidraçados;
- R_{ph} - Taxa de renovação de ar (h^{-1}).

A conjugação destes parâmetros, aliada à otimização, influencia diretamente no comportamento final do edifício bem como na classe energética a atribuir.

2.3.1 COEFICIENTE TRANSMISSÃO TÉRMICA SUPERFICIAL - U

As temperaturas exteriores e interiores de um edifício fazem parte dos processos de transmissão de calor. Com o recurso aos serviços de meteorologia disponíveis, tem-se acesso rapidamente às temperaturas exteriores de um dado local. Já para a temperatura interior é utilizado um valor nominal regulamentar de conforto. Basicamente, a transmissão de calor é efetuada quando existe diferença entre as temperaturas mencionadas. Também é de ter em conta que a transmissão de calor é feita sempre do elemento com temperatura mais elevada para o elemento de temperatura mais baixa através das seguintes formas [Rodrigues, et al., 2009]:

- Convecção⁶;
- Radiação⁷;

⁴ Grandes remodelações, são grandes intervenções em que o custo seja superior a 25% do valor do edifício, calculado com base em um referencial ($C_{ref} = 630 \text{ €/m}^2$) e por tipologia [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

⁵ Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Artigo 4º - Índices e parâmetros de caracterização.

⁶ Transmissão de calor entre um fluido e a superfície devido ao movimento do fluido em questão [Rodrigues, et al., 2009].

- Condução⁸.

Assim, o coeficiente de transmissão térmica superficial define a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele divide ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) [Dec. Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

Este coeficiente traduz a perda de calor numa superfície (m^2), que se processa em cada segundo, quando as suas duas faces se encontram sujeitas a uma diferença de temperaturas unitária. Assim, o desempenho térmico da fração autónoma será tanto melhor, quanto menor for o valor de U, pois menores são as perdas associadas aos elementos [Dec. Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

O cálculo deste coeficiente de um elemento da envolvente depende de vários fatores:

- Elementos construtivos – constituição de camadas homogéneas ou heterogéneas;
- Existência ou não de espaços de ar;
- Taxa de ventilação.

Para os elementos opacos, o cálculo de U deve ser efetuado seguindo a norma europeia EN 6946 [EN ISO 6946:2007].

Os valores de referência para as situações normalmente utilizadas e o princípio de cálculo são referidos no anexo VII do Dec. Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril.

A publicação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) – *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios* – ITE 50 [Santos, et al., 2006], divulga valores de condutibilidade térmica dos materiais, das resistências térmicas e da transmissão térmica mais correntes no setor da construção (pavimentos, fachadas, coberturas inclinadas e horizontais).

O coeficiente de transmissão térmica superficial é fundamental na caracterização térmica da envolvente opaca de um edifício mais concretamente nas fachadas.

2.3.2 COEFICIENTE TRANSMISSÃO TÉRMICA LINEAR – Ψ

As perdas térmicas principais que surgem nos pontos singulares da envolvente são contabilizadas individualmente através do coeficiente de transmissão linear, designado pela letra Ψ .

⁷ Transmissão de calor entre dois corpos que emitem e absorvem radiações eletromagnéticas. Quando um corpo recebe energia radiante (incidente), existe uma parte que é absorvida que aumenta a temperatura do corpo, uma que é refletida e por último outra energia que é transmitida [Rodrigues, et al., 2009].

⁸ Transmissão de calor estabelecida em corpos sólidos que ocorre em consequência da diferença de temperaturas entre dois pontos do corpo [Rodrigues, et al., 2009].

A atribuição da designação ponte térmica⁹ é aplicada a toda e qualquer zona da envolvente em que é alterada a resistência térmica em relação à zona corrente¹⁰. De uma forma mais simplificada, pontes térmicas são zonas onde a caixa-de-ar ou o isolamento térmico da parede exterior é interrompido [Pontes_Term, 2012].

Esta alteração pode dever-se à existência de materiais com condutibilidades térmicas diferentes e/ou a uma alteração geométrica da envolvente, por exemplo, fachadas com pavimentos térreos ou até mesmo ligação da fachada com uma varanda.

De acordo com regulamento, o número de pontes térmicas é amplo:

- Pontes térmicas devido ao contacto com pavimentos térreos e de paredes enterradas com o terreno¹¹;
- Pontes térmicas correspondentes a diversas configurações para diferentes possibilidades de localização do isolamento térmico¹²;
- Para outros casos de elementos em contacto com o terreno e de outras ligações, os valores de ψ podem ser determinados de acordo com as normas europeias EN 13370 [EN ISO 13370:2007] ou EN 10211-1 [EN ISO 10211-1:1996].

Para os casos de pontes térmicas lineares não contempladas no regulamento, é recomendável adotar um valor de referência de $\psi = 0,5 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. É de salientar que este valor penaliza em muito o comportamento térmico dos edifícios. Logo, é relevante quantificar da forma mais correta e rigorosa possível esse valor seguindo a norma EN ISO 10211-1.

Em determinados casos é dispensável a contabilização das pontes térmicas lineares, tais como:

- Paredes interiores que intersejam a cobertura e pavimentos:
- Sobre o exterior;
- Ou em locais não aquecidos.
- Paredes interiores que separam um espaço útil de um local não aquecido desde que $\tau < 0,7$, em que τ é um coeficiente que traduz a relação de temperatura entre o espaço não útil e o exterior [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]. As perdas térmicas de elementos em contacto com locais não úteis (não aquecidos) constituem uma parte do valor que teriam esses elementos se fizessem fronteira com o exterior. O coeficiente τ traduz esse decréscimo de

⁹ Ponte térmica, corresponde a vigas, pilares, caixas de estore, lintéis, cabeceiras e lajes [Pontes Térmicas, 2012].

¹⁰ Zona corrente, corresponde a paredes, pavimentos, coberturas e envidraçados [Pontes Térmicas, 2012].

¹¹ RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.2 [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

¹² RCCTE, Anexo IV, Tabela IV.3 [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

perdas tomando valores em função da natureza do espaço não útil das situações de ventilação e da relação entre as áreas da envolvente interior (A_i) e exterior (A_u) [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril] [Gonçalves, et al., 2005].

2.3.3 INÉRCIA DO EDIFÍCIO – I_T

A inércia térmica é um parâmetro que corresponde à capacidade de um elemento armazenar calor, libertando-o somente ao fim de algum tempo. Geralmente a inércia térmica é utilizada para absorver ganhos de calor durante o dia, reduzindo assim a carga de arrefecimento, e libertar à noite, contribuindo para a redução do consumo energético de aquecimento. Esta capacidade depende essencialmente:

- Da massa dos elementos construtivos;
- Do calor específico - C_p ¹³;
- E da condutibilidade térmica- λ ¹⁴.

Portugal está sujeito a grandes amplitudes térmicas em curtos períodos de tempo. Assim, o uso de materiais pesados e compactos (maciços) estabelece uma maior estabilidade térmica no interior dos edifícios. Estes materiais têm uma resposta lenta no que diz respeito à transferência de temperatura [Rodrigues, et al., 2009].

O desfasamento térmico causado com a ação da inércia térmica encontra-se exemplificado na figura 2-3. Ao início do dia, a temperatura e a radiação solar proporcionam no exterior da parede uma subida de temperatura em relação às restantes superfícies da parede (do exterior para o interior do edifício), resultando numa onda de calor que atravessa a parede que se encontra a uma temperatura mais baixa. A resistência a esta onda causa uma maior ou menor velocidade de propagação dependendo das massas das sucessivas camadas constituintes da parede e das respetivas condutibilidades térmicas. O calor “ganho” por cada camada é inicialmente elevado até ao seu máximo e só depois é propagado para outro material com temperatura menor [Rodrigues, et al., 2009].

¹³ Calor específico é a quantidade de energia necessária para elevar em 1 °C uma unidade de massa de material [Rodrigues, et al., 2009]. Por outras palavras, quanto menor é o calor específico, mais rápidas são as alterações de temperatura no material.

¹⁴ Condutibilidade térmica (λ), corresponde à quantidade de calor [W] por unidade de área [m²] que atravessa uma espessura unitária [m] de um determinado material, quando é estabelecida entre duas faces planas e paralelas uma diferença unitária de temperatura (1 °C) [EN ISO 10211-1:1996].

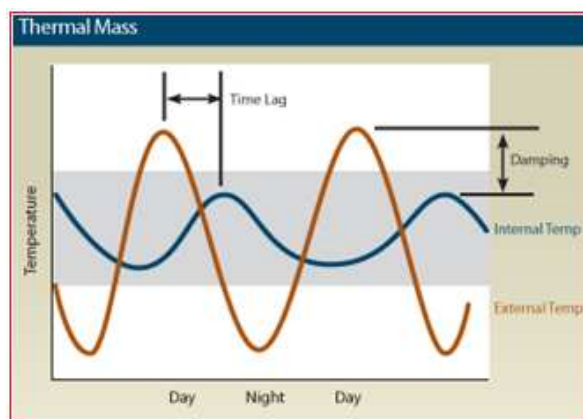


Figura 2-3: Perfil de temperatura de uma parede [Thermal Mass, 2012]

Por outro lado, o sentido de propagação pode dar-se ao contrário, do interior para o exterior. Isto surge quando a radiação solar “atravessa” o interior a partir dos envidraçados. A duração deste processo é tanto maior quanto maior for a massa, sendo que a variação da temperatura no interior não é praticamente sentida com a “entrada” da energia térmica (figura 2-4) [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril] [Rodrigues, et al., 2009]. Assim, com esta capacidade de transferência de calor durante o período convencional de arrefecimento (verão), a massa térmica das construções pode ser usada para a redução das cargas de arrefecimento, evitando ligar sistemas de arrefecimento e poupando assim energia. Como as temperaturas interiores e exteriores reduzem durante a noite, o calor tende a sumir-se.

No que diz respeito às oscilações térmicas exteriores, a inércia térmica proporciona uma maior estabilidade das temperaturas interiores, como se mostra na figura 2-4, provocando assim uma utilização mais racional da energia na climatização dos interiores [Rodrigues, et al., 2009].

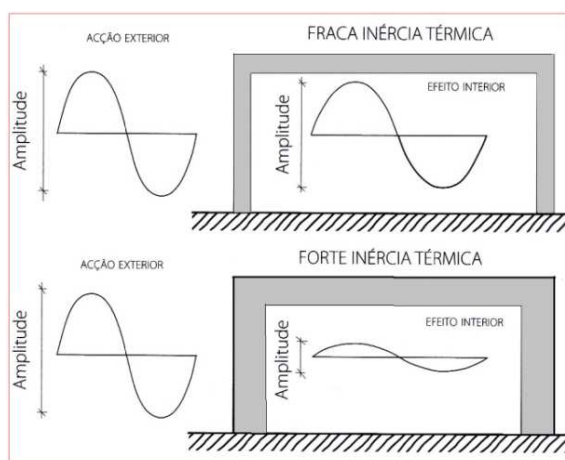


Figura 2-4: Efeito da inércia térmica [Rodrigues, et al., 2009]

2.3.3.1 CLASSES DE INÉRCIA TÉRMICA DE UM EDIFÍCIO

A massa tem um papel relevante no condicionamento da temperatura, visto que é este elemento que está em contacto direto com o ambiente interior. Também se verifica que é bastante vantajoso para a inércia térmica o facto de o isolamento ser aplicado pelo exterior. Ao colocar um isolamento térmico na parte interior do paramento¹⁵ estar-se-á a obstruir a inércia térmica.

A inércia térmica é classificada de acordo com a massa superficial útil (tabela 2.1):

Classe de inércia	Massa superficial útil (M_{si}) por metro quadrado da área de pavimento (kg/m^2)
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

Tabela 2.1: “Classe de inércia térmica interior” [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]

As construções pesadas, ou seja, com inércia térmica “Forte”, são benéficas para assegurarem o conforto térmico no edifício se o aquecimento e a ocupação se derem numa base diária e regular, isto é, caso se esteja em climas temperados com amplitudes térmicas sazonais e diárias relevantes tal como em Portugal. Se um edifício com classe “Forte” ficar desocupado, o consumo de energia aquando da reposição do conforto térmico será mais elevado, quando comparado com um edifício de classe térmica “Fraca”. Isto acontece porque, por exemplo, numa situação de aquecimento, primeiro a temperatura seria absorvida pela construção e só depois aqueceria o ambiente interior [Rodrigues, et al., 2009]. Logo, pode-se entender que esta solução seria mais dispendiosa a nível energético. Caso o edifício seja ocupado de uma forma contínua, essa desvantagem transforma-se numa vantagem aproveitada pelos ocupantes, pois haveria maior tempo de arrefecimento durante o tempo em que o aquecimento estaria desligado [Rodrigues, et al., 2009].

2.3.4 FATOR SOLAR DOS VÃOS ENVIDRAÇADOS

Em termos de definição, o fator solar (g_{\perp}) traduz a relação entre a energia solar transmitida para o interior através do vão envidraçado e a energia da radiação solar na direção normal que nele incide [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril] e, por consequência, um ganho de calor nos vãos envidraçados [Rodrigues, et al., 2009].

Para as estações de inverno e verão, N_{ic} e N_{vc} , respetivamente, é necessário definir a contribuição de diversos fatores solares para o cálculo dos ganhos solares dos vãos envidraçados exteriores. Os

¹⁵ Paramento, corresponde à superfície visível de qualquer obra de construção.

diversos fatores variam de acordo com a estação do ano devido à variação dos ângulos de incidência da radiação solar [ADENE, 2012]. São eles:

- F_h – fator de sombreamento do horizonte;
- F_o – fator de sombreamento por elementos horizontais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado;
- F_f – fator de sombreamento de elementos verticais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado;
- F_g – fração envidraçada;
- F_w – fator de correção da seletividade angular do tipo de envidraçado;
- g_{\perp} – Fator solar dos vãos envidraçados;
- $(F_h.F_o.F_f)$ - Fator de obstrução.

A radiação que incide num envidraçado é dividida em 3 partes, tal como é indicado na figura 2-5:

- Radiação que é refletida imediatamente para o exterior;
- Radiação que é absorvida pelo vidro;
- Radiação transmitida imediatamente para o interior.

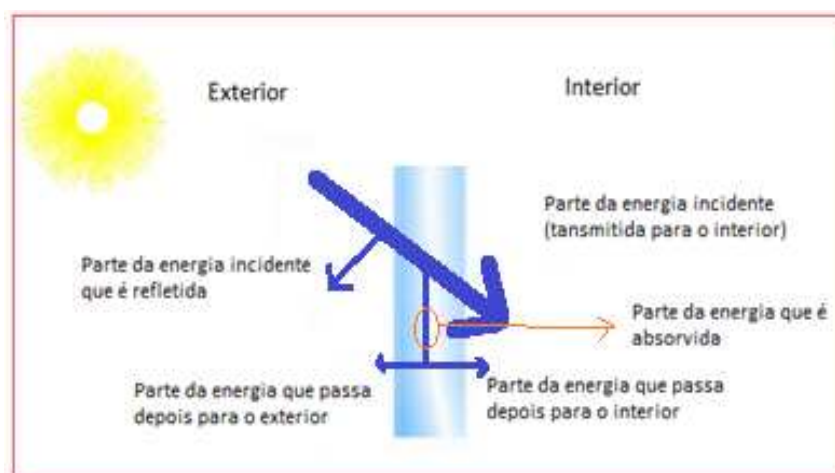


Figura 2-5: Ação da radiação solar sobre um envidraçado

Em termos gerais, o fator solar corresponde à relação existente entre o ganho de calor solar através dos vidros e a radiação total que nele incide. É de registar que quanto maior o fator solar, menores serão os ganhos solares através do vidro [Rodrigues, et al., 2009]. Os ganhos de calor associados a um vidro comum tornam-se difíceis de controlar, principalmente se a radiação incidir durante grande parte do dia, pois o respetivo fator solar é insuficiente. Para controlar esta radiação, deve-se deter alguma energia antes de esta atingir o envidraçado, utilizando “entraves” de proteção que possam ser colocadas à frente do vão, tais como, estores, cortinas, portadas e ou até mesmo palas horizontais e ou verticais.

2.3.5 TAXA DE RENOVAÇÃO DE AR - R_{ph}

Os edifícios, independentemente da sua tipologia, devem ser ventilados de forma a contribuir para melhorar as condições de higiene do ar interior e evitar a ocorrência de condensações (fungos). Os caudais de ventilação têm necessariamente de ser mínimos para que as trocas de calor entre o interior e exterior não coloquem em causa as condições de conforto térmico e conduzam a um consequente aumento de consumo de energia para manter os valores de conforto.

Para quantificar o valor da taxa (R_{ph}) é necessário definir que tipo de ventilação é usada no edifício:

- Ventilação natural – a permeabilidade ao ar da caixilharia bem como a classe de exposição do edifício à ação do vento (dependente da altura do edifício acima do solo) deverão ser determinadas;
- Ventilação mecânica – inicialmente deve-se calcular o caudal de ar da ventilação natural (desprezável ou não) e o caudal de ar da ventilação mecânica, para que de seguida seja calculada a taxa total de ventilação.

O exaustor da cozinha ou ventiladores de casa de banho não são considerados para a contabilização energética, pois funcionam normalmente num curto período de tempo. Logo, se apenas se tiver este tipo de ventilação, o tipo de ventilação atribuída ao edifício é natural.

A Norma NP 1037-1 estabelece a taxa mínima de renovação de ar nas habitações por motivos de higiene e conforto sem a intervenção dos ocupantes [NP 1037-1:2002]. Essa taxa é independente do tipo de ventilação (natural ou mecânica), a qual não pode ser inferior à taxa de 0,6 renovações por hora (h^{-1}) [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

Este valor mínimo pode ser atingido através de aberturas específicas nas paredes ou na caixilharia, possibilitando o controlo do caudal, embora continue a depender de condições do exterior. Devem igualmente ser tidos em conta os caudais indesejados, ou seja, caudais devido a frinchas e juntas, os quais não são controláveis e são bastante difíceis de quantificar, uma vez que dependem da permeabilidade¹⁶ da envolvente. Devido a estes caudais “parasitas” podem ocorrer diferenças entre as necessidades energéticas previstas para uma determinada tipologia em relação ao que acontece na realidade.

O Dec. Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, quadro IV.I, impõe valores específicos de taxas de renovação para os edifícios de habitação de acordo com:

¹⁶ Capacidade de permitir mais ou menos substâncias num dado corpo. Um objeto não permeável impede a passagem de substâncias.

- A permeabilidade ao ar das caixilharias de acordo com a norma EN 12207 (m³/h.m) [EN 12207:2000];
- Classe de permeabilidade (1, 2 e 3) que corresponde ao nível de qualidade;
- Classe de desempenho/exposição da caixilharia (Exp.1, 2, 3 e 4), sendo a classe 1 com maior permeabilidade. A classe de exposição é uma função da localização do edifício e da altura acima do solo [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril];
- Dispositivos de admissão de ar na fachada.

Caso a ventilação seja efetuada através de meios mecânicos contendo sistemas de recuperação de calor (figura 2-6), ou seja, sistemas que fazem o aproveitamento da temperatura da extração (retorno) e adicionam esse calor ao ar novo que se está a insuflar, o consumo de energia para aquecimento ambiente devido às perdas por ventilação é reduzido através do fator $(1 - \eta_v)$, sendo o η_v o rendimento do sistema de recuperação.

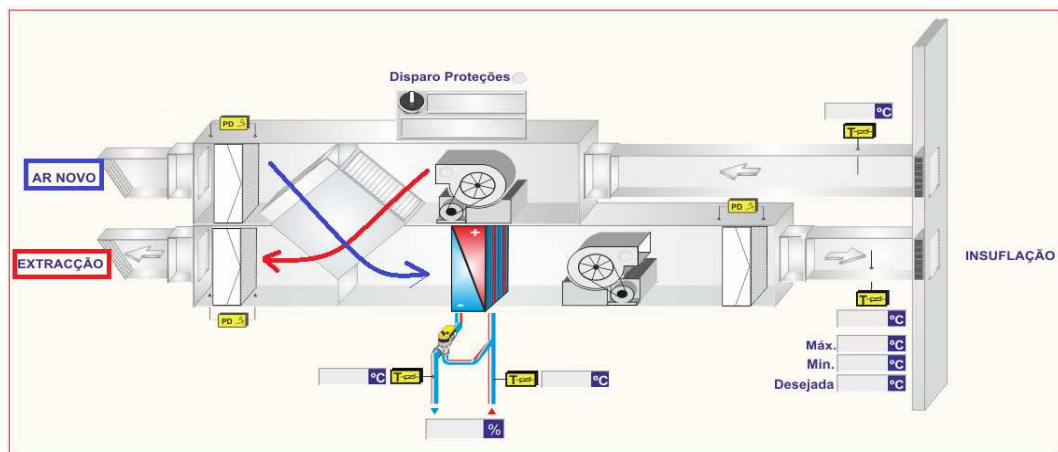


Figura 2-6: Exemplo de uma unidade de tratamento de ar – UTA

Estes sistemas são normalmente utilizados em edifícios de serviços. Estas máquinas, juntamente com sistemas de regulação e controlo, são eficazes e fiáveis no aquecimento, no arrefecimento e no tratamento de ar, proporcionando melhorias na qualidade do ar interior (QAI), no conforto térmico e na eficiência energética dos edifícios.

2.4. NECESSIDADES DE AQUECIMENTO - N_{IC}

O valor de referência utilizado para a estação convencional de aquecimento é de 20 °C [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]. Logo, é expectável que essa temperatura seja mantida em valor constante.

De acordo com a figura 2-7, se as perdas de calor forem superiores aos ganhos, a temperatura ambiente do edifício tenderá a baixar.

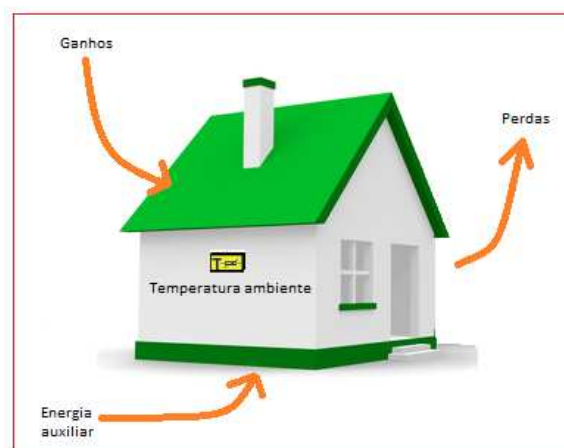


Figura 2-7: Balanço de energia

Para evitar esta redução de temperatura, o equipamento auxiliar terá de fornecer a energia correspondente à diferença entre as perdas e os ganhos à mesma taxa de redução.

Para que seja mantida a temperatura de referência, as necessidades nominais de energia útil para aquecimento - N_{ic} (kWh/m².ano) têm de fornecer a energia necessária para que a temperatura referida seja mantida na fração. Deduz-se, então, que quanto maior for o seu valor, mais frio é o edifício no inverno, ou seja, mais energia se necessita de gastar para o aquecer até atingir um comportamento térmico agradável.

O valor das necessidades nominais de aquecimento por unidade de área útil (m²) depende dos seguintes fatores:

- Q_t - perdas de calor por condução através da envolvente dos edifícios;
- Q_v - perdas de calor resultantes da renovação de ar;
- Q_{gu} - ganhos de calor, resultantes:
 - da iluminação;
 - dos equipamentos;
 - dos ocupantes;
 - dos ganhos solares através dos envidraçados.
- A_p - Área útil do pavimento (m²).

Os ocupantes do edifício podem não impor constantemente condições iguais às de referência, podendo surgir diferenças consideráveis, tanto por omissão como por excesso, entre as condições reais e as admitidas como referência pelo regulamento. Logo, o valor calculado das necessidades nominais de aquecimento pode não corresponder ao consumo real do edifício [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

2.4.1 PERDAS DE CALOR POR CONDUÇÃO ATRAVÉS DA ENVOLVENTE DOS EDIFÍCIOS - Q_T

Uma grande parte das perdas (Q_T) (W) que ocorrem numa fração verificam-se sobretudo pelas paredes da envolvente.

Estas perdas surgem devido à diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, resultando da soma de quatro parcelas:

- Q_{ext} – paredes em contato com o exterior (W);
- Q_{lna} – paredes em contato com locais não aquecidos (W);
- Q_{pe} – perdas de calor de paredes e pavimentos em contato com o solo (W);
- Q_{pt} – perdas de calor pelas pontes térmicas existentes (W).

Para diminuir a propagação destas perdas é essencial selecionar um isolamento térmico adequado.

2.4.2 PERDAS DE CALOR RESULTANTES DA RENOVAÇÃO DE AR - Q_V

As perdas de calor por unidade de tempo correspondentes à renovação de ar interior (Q_V) (W) dependem dos seguintes parâmetros:

- ρ – massa volúmica do ar = 1,2191 kg/m³;
- C_p – calor específico do ar (J/kg. °C);
- V – volume (m³) do interior da fração autónoma que pode ser calculado como o produto da área útil de pavimento (A_p) (m²) pelo pé direito médio (P_d) (m);
- θ_i – temperatura interior de referência para as necessidades de aquecimento (20 °C);
- θ_{atm} – temperatura do ar exterior (°C);
- R_{ph} – taxa de renovação nominal (h⁻¹).

Se a ventilação for conjugada por sistemas que contém dispositivos de recuperação de calor (transferência de calor entre o calor extraído e o ar insuflado – figura 2-6), tem-se de ter em conta que a energia para aquecimento devido às perdas por ventilação são reduzidas. Contudo, ter-se-á de acrescentar os consumos elétricos destes ventiladores no cálculo destas perdas (Q_V).

2.4.3 GANHOS DE CALOR - Q_{GU}

Os ganhos térmicos (Q_{gu}) (kWh) são o resultado do aproveitamento dos:

- Q_i – ganhos internos brutos (kWh);
- Q_s – ganhos solares brutos (kWh).

Mais uma vez entende-se que a escolha acertada de um isolamento térmico adequado é determinante para evitar os ganhos de calor no verão, para manter a temperatura estável e constante no interior das frações.

2.4.3.1 GANHOS INTERNOS BRUTOS - Q_i

Estes ganhos são resultantes da carga interna do edifício ou fração referente à:

- Iluminação;
- Ao nº de ocupantes;
- Utilização de equipamentos.

os quais dependem de ganhos térmicos internos médios por área útil de pavimento (W/m^2), segundo o quadro IV.3 do Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril. Desde que justificados podem ser adotados valores diferentes nos ganhos térmicos internos, pois estes são muito variáveis devido às cargas existentes bem como à forma de utilização.

2.4.3.2 GANHOS SOLARES BRUTOS - Q_s

As equipas de arquitetura têm a tendência para projetar os edifícios com a orientação a sul. Com este tipo de orientação, os edifícios são mais confortáveis, possibilitando a redução das suas necessidades energéticas com otimização dos ganhos solares durante o ano [EN 12207:2000];

Os edifícios projetam uma sombra permanente, que se vai alterando ao longo do dia e da estação do ano. Tendo em conta o volume do edifício e o movimento do sol, estas sombras podem ser calculadas. De forma a evitar este tipo de sombreamento, terá de se ter em conta a distância entre edifícios aquando do planeamento urbano, de forma a evitar que durante o inverno possam existir sombras nas fachadas viradas a sul [PVC, 2007].

O ganho solar do vão envidraçado consiste na quantidade de energia que realmente passa através dele. Logicamente, o total dos ganhos solares consiste no somatório dos ganhos solares associados a cada vão envidraçado [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

De seguida, são apresentados os fatores que condicionam os ganhos solares brutos [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]:

- G_{sul} – corresponde à energia solar média incidente numa superfície vertical orientada a sul de área unitária, em função da zona climática de inverno ($kWh/m^2.mês$). Para as situações das superfícies que não estejam orientadas a sul, o valor da energia a sul será condicionado por um fator de orientação denominado X para as diferentes exposições, especificado no regulamento (valor 0 corresponde a Norte e 1 a Sul) [Rodrigues, et al., 2009];

- A - área total do vão envidraçado, ou seja, incluindo vidro e caixilho (m^2);
- F_s - fator de obstrução total, que depende do:
 - F_h - fator de sombreamento do horizonte, que corresponde às obstruções externas ao edifício - árvores, relevo geográfico;
 - F_o - fator de sombreamento por elementos horizontais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado;
 - F_f - fator de sombreamento por elementos verticais adjacentes ou sobrepostos ao vão envidraçado;
- F_g - fração envidraçada¹⁷;
- F_w - fator de correção da seletividade angular do tipo de envidraçado¹⁸ e do tipo de vidro;
- g_{\perp} - é o fator solar dos vãos envidraçados considerando a radiação incidente perpendicular ao envidraçado e que tem em consideração dispositivos de proteção solar;
- n_j - superfície n que tem a orientação j .

De forma a identificar a área correspondente à área de incidência do sol, deve-se considerar apenas o envidraçado em que o sol incide (figura 2-8).

De acordo com o gráfico 2.1, de forma a evitar sobreaquecimentos na estação de aquecimento, os vãos envidraçados devem dispor de meios de proteção solar.

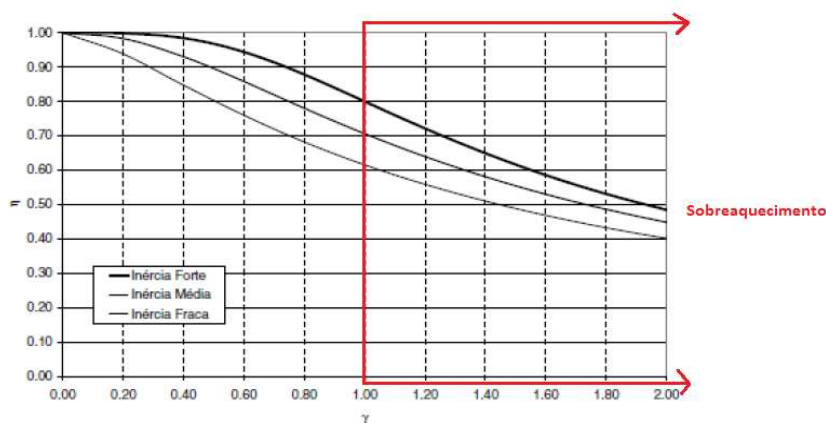


Gráfico 2.1: Fator de utilização dos ganhos térmicos em função da inércia térmica de um edifício [Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]

¹⁷ Fração envidraçada, relação entre a área envidraçada e área total do vão envidraçado e que representa a redução da transmissão da energia solar associada à existência da caixilharia. No Quadro IV.5 do Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril são sugeridos valores típicos da fração envidraçada para diferentes tipos de caixilharia.

¹⁸ Este fator representa a redução dos ganhos solares causada pela variação das propriedades do vidro com o ângulo de incidência da radiação solar direta. Este fator, para as necessidades nominais de aquecimento, toma o valor 0,9 para os vidros correntes simples e duplos.

É notório que se os valores da relação entre os ganhos totais brutos (internos e solares) (γ) forem elevados, provocam valores do fator de utilização dos ganhos térmicos¹⁹ (η) baixos, os quais podem levar a um sobreaquecimento da fração ou edifício.

Na figura 2-8 explicita-se como os ganhos solares de um vão envidraçado podem ser contabilizados.

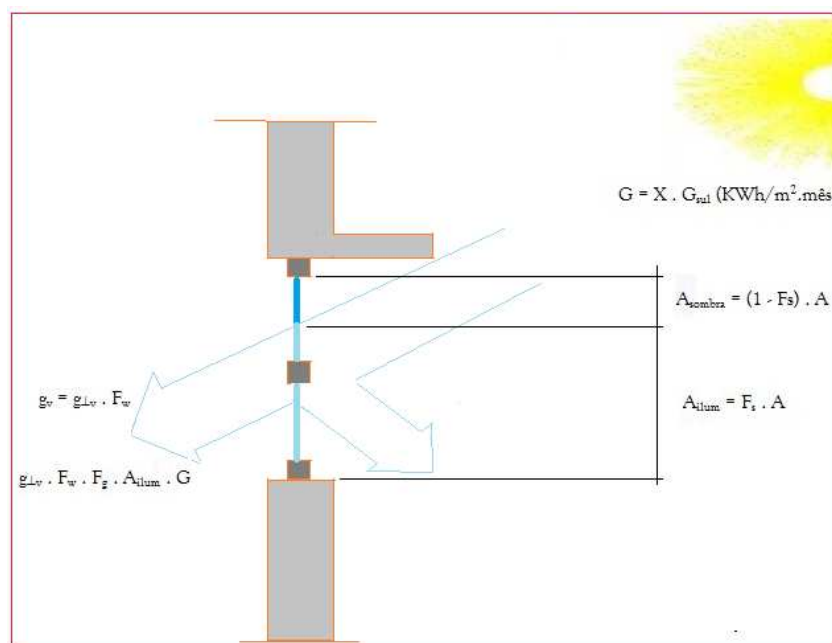


Figura 2-8: Ganhos solares de um envidraçado [Rodrigues, et al., 2009]

Os raios solares são sem sombra de dúvidas uma mais-valia para o interior dos edifícios, essencialmente na estação de aquecimento, de forma a auxiliar as necessidades energéticas neste período.

Em certas ocasiões, devido a um excesso de radiação ou até mesmo a uma produção interna elevada, verifica-se que os ganhos térmicos brutos deixam de ser úteis, pois causam desconforto [Rodrigues, et al., 2009]. Assim, estes ganhos não devem ser incluídos para o cálculo das necessidades de aquecimento.

O fator de utilização dos ganhos térmicos (η) é um valor que varia entre 0 e 1 e surge devido à contabilização dos ganhos térmicos úteis a partir dos ganhos térmicos brutos.

Viu-se na secção 2.3.3, que a inércia depende da massa que fica em “contato” com o interior do edifício, sem este estar revestido com material isolante. De forma a tirar o melhor proveito desta

¹⁹ Fator de utilização dos ganhos térmicos (η), “é calculado em função da inércia térmica do edifício e da relação (γ) entre os ganhos totais brutos (solares e internos) e as perdas totais do edifício” [Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

otimização, o regulamento apenas contabiliza como massa útil (M_{si}) para efeitos de armazenamento de calor, a massa que estiver do lado interior do isolamento térmico²⁰.

Nos edifícios de serviços, a inércia térmica pode diminuir para valores que ficam abaixo do limite referente à inércia forte, devido à área dos envidraçados que normalmente é superior àquela que se encontra nos edifícios de habitação [Rodrigues, et al., 2009].

2.4.4 LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO - N_i

O regulamento [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril] impõe um limite para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, em termos de energia anual (kWh/m².ano).

O limite das necessidades nominais de energia útil para aquecimento (N_i) está relacionado e depende do:

- Fator de forma (FF)²¹ que traduz a densidade do edifício ou fração autónoma;
- Valor dos Graus-dias de aquecimento associados ao zonamento (GD), que corresponde à “dureza” do clima. Quanto maior for este valor, maiores serão os valores máximos admissíveis das necessidades de aquecimento [Rodrigues, et al., 2009].

Deste modo, para o mesmo volume interior, quanto maior for o valor do FF, maiores áreas de perdas de calor e, conseqüentemente, mais energia é necessária para o aquecimento na mesma zona climática.

Os valores limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento encontram-se discriminados na tabela 2.2:

N_i (kWh/m ² .ano)	FF
$4,5 + 0,0395 \times GD$	$< 0,5$
$4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF}) \times GD$	$0,5 < \text{FF} < 1$
$[4,5 + (0,021 + 0,037 \text{ FF} (1,2 - 0,2 \text{ FF}))]$	$1 < \text{FF} < 1,5$
$4,05 + 0,06885 \times GD$	$\text{FF} > 1,5$

Tabela 2.2: Limites das necessidades nominais de energia útil para aquecimento [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]

²⁰ Condutibilidade térmica inferior a 0,065 W/m.°C [Pontes Térmicas, 2012].

²¹ Fator de forma, corresponde à relação entre o somatório das áreas de envolvente exterior e interior do edifício ou fração e o respetivo volume [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

O valor de FF é diretamente proporcional ao valor das necessidades nominais de aquecimento máximas, ou seja, quanto menor for o valor de FF, menor será o valor do limite das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i).

2.5. NECESSIDADES DE ARREFECIMENTO - N_{VC}

Durante o verão, a temperatura exterior é em grande parte sempre maior que a temperatura interior. Logo, o objetivo é manter o valor de referência (no interior) evitando o sobreaquecimento.

Os valores de referência são de 25 °C e 50 % de humidade relativa para a estação convencional de arrefecimento.

Os ganhos úteis correspondem aos ganhos que não provocam um excesso de temperatura no interior. Em contrapartida, os ganhos não úteis provocam o sobreaquecimento, estabelecendo assim a necessidade de restabelecer as condições de conforto através das necessidades de arrefecimento que correspondem à quantidade de energia útil que é necessário retirar numa área/zona por m².

De forma análoga às necessidades de aquecimento, quanto maior for o valor das necessidades nominais de arrefecimento (kWh/m².ano), mais quente será o edifício no verão. Logo, mais energia é necessário consumir para atingir a temperatura dita confortável.

O valor das necessidades nominais de arrefecimento depende dos seguintes fatores:

- Q_g – ganhos totais brutos do edifício ou fração, os quais resultam da soma das seguintes cargas:
 - Q_1 – Ganhos pela envolvente opaca de cada componente da envolvente, devido a acontecimentos inter-relacionados com a diferença de temperatura interior-exterior e com a incidência da radiação solar (kWh);
 - Q_2 – Ganhos pelos vãos envidraçados devido à incidência solar (kWh);
 - Q_3 – Perdas por ventilação, devido à renovação de ar (kWh);
 - Q_4 – Ganhos internos que correspondem à energia calorífica libertada pela ocupação, equipamentos e iluminação artificial utilizada (kWh).
- η – Fator de utilização dos ganhos;
- A_p – área útil de pavimento (m²).

2.5.1 GANHOS TOTAIS BRUTOS - Q_g

Os ganhos Q_1 , Q_2 e Q_3 correspondem aos ganhos pela envolvente exterior.

No verão, os ganhos não úteis são um problema que normalmente influencia negativamente nas necessidades de arrefecimento. Assim, pode-se contabilizá-los através da forma de cálculo dos ganhos úteis de inverno, associando as condições exteriores e interiores às de verão e relacionando os ganhos totais de verão com o fator $(1-\eta)$.

2.5.1.1 GANHOS PELA ENVOLVENTE OPACA - Q_1

Na estação convencional de arrefecimento, os elevados níveis de radiação solar que incidem nos edifícios levam ao aumento de subida das temperaturas dos elementos de construção para valores mais altos do que a temperatura do ar no exterior. Como o próprio nome indica, entende-se por envolvente opaca uma zona que não deixa passar a luz.

O fenómeno da propagação de calor por condução através da envolvente no verão implica ganhos indesejáveis de calor e influencia em muito o comportamento térmico dos edifícios.

A minimização deste fenómeno passa por aumentar a resistência térmica dos elementos que constituem o edifício, como, por exemplo, através da adição de elementos isolantes como a cortiça, o poliestireno expandido²², o poliuretano e as lãs minerais para as situações de envoltentes opacas (paredes, coberturas e pavimentos) [Santos, et al., 2006].

2.5.1.2 GANHOS PELOS VÃO ENVIDRAÇADOS - Q_2

No inverno, os ganhos solares são favoráveis e, por isso, não é necessário adicionar qualquer proteção solar, a não ser cortinas transparentes [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]. No verão, não convém de maneira alguma prescindir destes tipos de proteções (sombreamento) sob pena de causar desconforto térmico e gastos de energia desnecessários para repor esse conforto [Orientação, 2012].

Na estação de arrefecimento, o fator solar terá de ter um valor baixo, pois assim permite menores ganhos e, por consequência, menores consumos para manter os requisitos de conforto.

Para minimizar o desconforto provocado pela incidência solar, dever-se-á ter em conta que o vidro, caixilharia e persiana devem ter no seu conjunto uma resistência térmica elevada [Orientação, 2012]. Para que a proteção solar seja ainda mais eficaz, podem-se adicionar palas (horizontais e verticais) de sombreamento, pois estas podem projetar sombra sobre o vão, diminuindo a quantidade de energia solar que atravessa o envidraçado.

²² O poliestireno expandido, também designado por EPS e normalmente conhecido por esferovite, é um tipo de espuma de poliestireno moldado, composta por aglomerados de grãos, que normalmente se utiliza em placas para isolamento térmico na construção civil, entre outros.

A caixilharia é uma das responsáveis pelas trocas de calor por condução, havendo diferença no que diz respeito a menos trocas quando se usa uma caixilharia de PVC²³ em comparação com uma caixilharia de metal [Piedade, et al., 1996].

Os vidros duplos são um tipo de proteção cuja utilização se encontra em voga, pois aumenta o desempenho energético. A caixa-de-ar existente entre os dois vidros pode ser preenchida por diversos gases. O Árgon é um gás que oferece uma resistência térmica superior à do ar e que melhora o desempenho do envidraçado [Silva, et al., 2006].

Os fatores utilizados no verão para o cálculo dos ganhos solares nos vãos envidraçados correspondem em parte aos mesmos utilizados no inverno. Os fatores [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril] que condicionam os ganhos pelos vãos envidraçados na estação de arrefecimento são:

- I_{rj} – corresponde à energia solar incidente;
- A_{snj} – área efetiva coletora do envidraçado n na orientação j (m^2);
- F_s – fator de obstrução total, que depende dos fatores F_o , F_f , F_w e F_g , já vistos anteriormente (secção 2.3.4);
- g_{\perp} ;
- $g_{\perp v}$ – fator solar do vidro para uma incidência perpendicular.

O valor de F_h no verão toma o valor 1 e os valores de F_g são os mesmos que para o inverno.

Este produto de $F_s F_g F_w$ [Rodrigues, et al., 2009] toma o valor 0,51, quando não existirem obstruções, tal como, por exemplo, devido a palas do próprio edifício que causem sombreamento [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

Para o cálculo das necessidades de arrefecimento é estabelecido o uso de dispositivos de sombreamento móveis ativados a 70%:

- Fator solar do vão envidraçado igual à soma de 30%;
- Fator solar do vidro igual a mais 70% do que o do vão.

O Quadro V.4 do Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril apresenta uma listagem de fatores solares de vãos envidraçados com os dispositivos de proteção mais usados (vidros incolores correntes). Quando se utilizam vidros especiais diferentes do habitual, o cálculo destes fatores depende de estes serem vidros simples ou duplos [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

²³ O PVC, tecnicamente designado por Policloreto de Vinilo, é um material plástico sólido que se apresenta na sua forma original como um pó de cor branca. Fabrica-se por polimerização do monómero de cloreto de vinilo (VCM) que, por sua vez, é obtido do sal e do petróleo. Foi patenteado como fibra sintética há mais de oitenta anos, tendo começado a ser comercializado em 1931 [Orientação, 2012].

2.5.1.3 PERDAS POR VENTILAÇÃO - Q_3

Este tipo de perdas segue o mesmo tipo de metodologia que na estação de aquecimento, tendo em conta que a duração horária da estação de arrefecimento é de 2928 horas.

As trocas de calor devido à ventilação correspondem a uma perda e não a um ganho de calor, pois a temperatura média exterior da estação de arrefecimento é inferior à de referência (25 °C) [Rodrigues, et al., 2009].

2.5.1.4 CARGAS INTERNAS - Q_4

Este conceito é o mesmo que o utilizado na estação de aquecimento. A duração temporal em horas tem de ser adaptada para esta estação.

2.5.2 LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO - N_v

Para que N_v (kWh/m². ano) esteja dentro dos limites regulamentares, é preciso que estas necessidades nominais não excedem o valor máximo admissível, o qual depende das zonas climáticas, conforme se mostra na tabela 2.3.

Zona	Orientação	N_v (kWh/m ² . ano)
V1	N	16
V1	S	22
V2	N	18
V2	S	32
V3	N	26
V3	S	32
Açores	-	21
Madeira	-	23

Tabela 2.3: Valores limites das necessidades nominais de energia útil para arrefecimento - N_v (adap.) [Dec.- Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]

É de notar que na estação de aquecimento, os ganhos úteis são aqueles que não provocam o sobreaquecimento do espaço interior. Os ganhos não úteis, pelo contrário, são aqueles que provocam as necessidades de arrefecimento durante o verão.

2.5.3 NECESSIDADES PARA PREPARAÇÃO DA ÁGUA QUENTE SANITÁRIA - N_{AC}

As necessidades anuais para a preparação de águas quentes sanitárias dependem dos seguintes parâmetros:

- E_{solar} – constitui a contribuição dos coletores solares. O cálculo deste termo deve ser feito através do *software* SOLTERM [Gonçalves, et. al., 2005]. Esta aplicação é reconhecida e recomendada pelo Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril;
- E_{ren} – traduz a contribuição de outras formas de energia renováveis (fotovoltaica, solar, biomassa, eólica, etc.) para as AQS ou para outras formas de calor;
- Q_a/η_a – corresponde à produção de AQS com sistemas convencionais, em que:
 - Q_a – energia útil despendida com sistemas convencionais de preparação de AQS (kWh/ano);
 - η_a – Eficiência de conversão a partir da fonte primária de energia – valor com base de ensaios normalizados fornecidos pelos fabricantes.

O sistema solar proporciona energia para a preparação de AQS, mas também pode contribuir para o sistema de aquecimento do edifício ou fração. O sistema aquece a água relativa ao consumo dos utilizadores e, em paralelo, também aquece a fração através da água que circula nos sistemas hidráulicos (irradiadores, pavimentos radiantes, etc.), proporcionando a redução dos custos de produção de energia no inverno [ADENE, 2012].

Deve-se ter em atenção que os coletores a utilizar devem ser de qualidade, ou seja certificados e instalados por instaladores certificados pela DGGE²⁴ que garantem 6 anos de manutenção. Só assim é que a contabilização da energia ganha no parâmetro E_{solar} entrará em consideração no cálculo N_{ac} [Gonçalves, et. al., 2005].

2.5.3.1 CONTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS DE COLETORES SOLARES

Atualmente, o problema energético é, sem sombra de dúvidas, um problema a minimizar o quanto antes devido à escassez dos combustíveis fósseis, bem como ao aumento do efeito de estufa devido ao uso destes recursos.

A nível europeu, os edifícios têm um peso de 40 % no consumo de energia [DGEG, 2012], pelo que se torna urgente reduzir esta dependência utilizando quer técnicas que permitem aumentar a eficiência energética dos edifícios, quer tirando partido dos incentivos à utilização de sistemas de energia renovável.

²⁴ DGGE – Direção Geral de Energia e Geologia, “é o órgão da Administração Pública Portuguesa que tem como objetivo contribuir para a conceção, promoção e avaliação das políticas relativas à energia e aos recursos geológicos, numa ótica do desenvolvimento sustentável e de garantia da segurança do abastecimento” [Gonçalves, et. al., 2005].

O aproveitamento solar através de coletores é um dos sistemas que tem uma rentabilidade bastante satisfatória, com um custo/benefício claramente positivo [ADENE, 2012], e tendo em conta que é uma energia verde²⁵.

Os sistemas de energia solar captam grande parte da radiação solar através de um sistema coletor (painel ou coletor solar) em que no interior existe a passagem (circuito hidráulico fechado) de um fluido térmico transportado com o auxílio de uma bomba através de tubos isolados, até ao depósito de água quente. Devido à variação solar, este sistema normalmente necessita de ter acoplado um outro sistema que funciona com energia convencional²⁶ de apoio e que auxilia na manutenção da temperatura da água quente no depósito. Na figura 2-9 apresenta-se um sistema tipo.

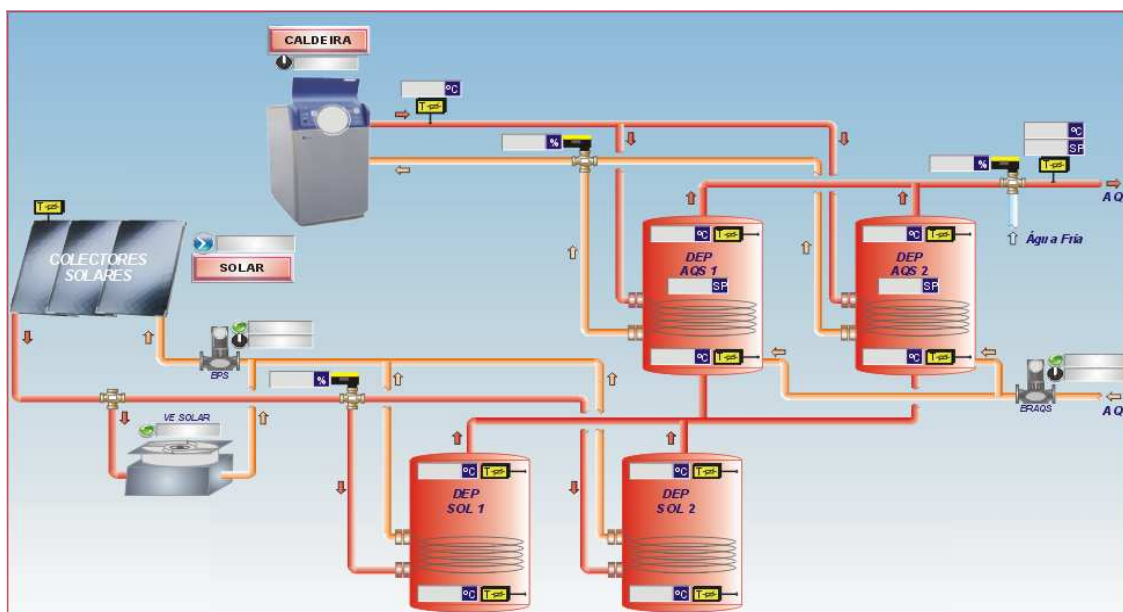


Figura 2-9: Exemplo de um Sistema solar

O RCCTE estabelece de forma obrigatória o uso de sistemas de coletores solares térmicos para o aquecimento das AQS com a razão de 1 m² por ocupante nos edifícios de habitação [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]. Esta obrigatoriedade é válida sempre que a cobertura em terraço ou cobertura inclinada tenha exposição solar adequada [Gonçalves, et. al., 2005].

Esta forma de energia e outras renováveis contribui para a melhoria do nível de vida de qualquer sociedade, pois contribui para a redução da dependência energética.

²⁵ Energia Verde é uma energia em que não emite gases tóxicos para o meio ambiente, logo não cria problemas ambientais, ao contrário do que acontece com a produção de energia através da queima de combustíveis fósseis [Dir. 2002/91/CE].

²⁶ Utiliza-se o termo Energia Convencional, quando a energia em questão é derivada dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo bruto, gás natural, etc.).

2.5.3.2 CONTRIBUIÇÃO DE OUTRAS FORMAS DE ENERGIA RENOVÁVEIS - E_{REN}

A contribuição de outras formas de energia (fotovoltaica, biomassa, eólica, etc.) para a preparação de AQS, ou até mesmo outras formas de recuperação de calor, deve ser calculada sempre que o valor deste parâmetro seja justificado e reconhecido pela entidade licenciadora.

No gráfico 2.2 encontra-se evidenciada a evolução crescente da utilização das energias alternativas.

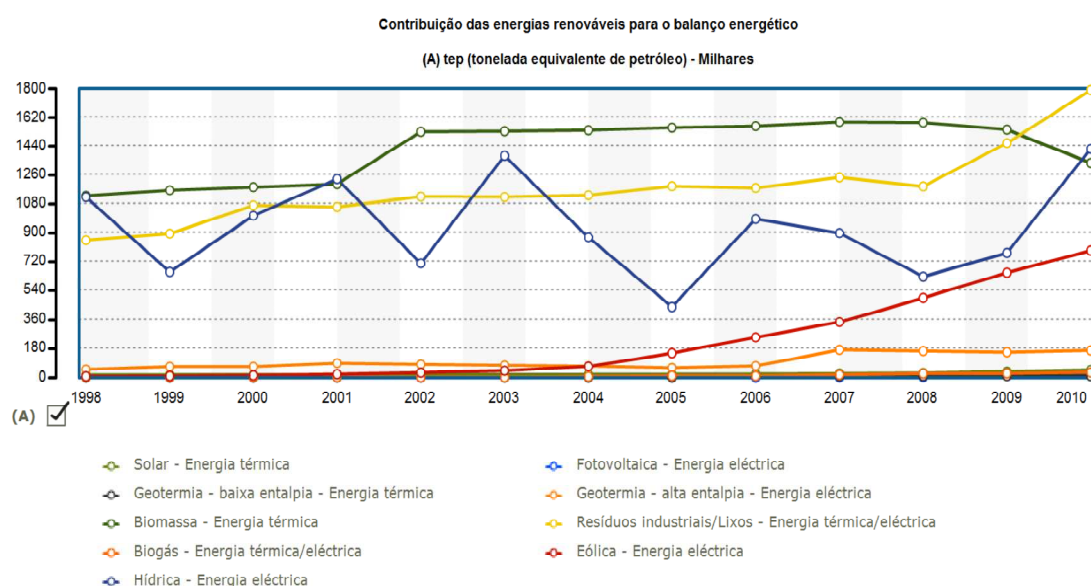


Gráfico 2.2: Contribuição das energias renováveis para o balanço energético [Pordata, 2012]

Estas formas de energia, quando aplicadas, têm de ter uma captação anual equivalente à dos coletores solares na situação em questão [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

2.5.3.3 ENERGIA ÚTIL DESPENDIDA COM SISTEMAS CONVENCIONAIS

O sistema convencional de preparação de AQS tem de proporcionar a produção de energia necessária (Q_a) para elevar a temperatura até aos 60 °C, sempre que os dispositivos renováveis não mantenham a temperatura desejada [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

2.5.3.4 EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO DO SISTEMA DE PREPARAÇÃO DAS AQS

Caso o valor da eficiência dos equipamentos (η_a) não seja conhecida, poder-se-á utilizar valores tabelados, os quais, normalmente, são bastante penalizadores, de acordo com a descrição do Anexo VI, ponto 3, do Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril.

2.5.4 LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

Tal como as restantes necessidades mencionadas no regulamento, as necessidades de energia para preparação de AQS não podem ultrapassar um dado limite – $N_{ac} \leq N_a$ (kWh/ m².ano).

As necessidades de AQS são limitadas em função de:

- A_p – área do pavimento útil (m²);
- n_d – n.º anual de dias de consumo de AQS que depende do tipo de edifícios bem como da sua frequência de utilização;
- M_{AQS} – consumo médio diário de referência de AQS.

O regulamento menciona que o consumo diário de referência (M_{AQS}) para um edifício de serviços é de 100 litros. No entanto, é permitido outro valor de consumo anual desde que justificado [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

2.5.5 NECESSIDADES NOMINAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA – N_{TC}

As necessidades nominais de energia primária (N_{TC}), correspondem à soma ponderada das três necessidades energéticas enunciadas (N_{ic} , N_{vc} e N_{ac}). Como as energias consumidas são provenientes de várias fontes, deve-se converter a energia primária na unidade tonelada equivalente de petróleo (tep)²⁷.

De acordo com a fonte de energia utilizada, a conversão é dependente de cada fator de conversão. O regulamento estabelece os fatores de conversão (F_{pu}), para cada índice (F_{pui} , F_{puv} e F_{pua}), os quais constam da tabela 2.4.

Fonte de Energia	Fator de conversão - F_{pu} (kgep/kWh)
Eletricidade	0,29
Combustível sólido, líquido e gasoso	0,086

Tabela 2.4: Fatores de conversão de energia primária [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]

Cada necessidade anual (N_{ic} e N_{vc}) tem associada a si um fator que corresponde às eficiências nominais de aquecimento e arrefecimento – η_i e η_v . Estes dados devem ser os dados reais dos equipamentos instalados. Caso contrário, podem-se utilizar os valores de referência de acordo com a tabela 2.5, com a agravante que estes valores irão penalizar o cálculo de cada índice:

²⁷A unidade correspondente à Energia Primária é o tep – Tonelada equivalente de petróleo. Da mesma forma, para a energia final a unidade é o Joule (J).

Sistema			Eficiência nominal - η
Resistência elétrica			1
Máquina frigorífica	Ciclo de	Compressão ²⁸	3
		Absorção ²⁹	0,8
Caldeira a combustível	Gasoso		0,87
	Líquido		0,8
	Sólido		0,6
Bomba de calor	Aquecimento		4
	Arrefecimento		3

Tabela 2.5: Eficiências nominais de referência para equipamentos de aquecimento e arrefecimento (adap.)

[Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]

De forma a traduzir os padrões típicos de utilização dos edifícios portugueses no que diz respeito às necessidades de aquecimento, arrefecimento e de preparação de AQS, existem fatores de ponderação associados a cada uma destas necessidades. Em relação à preparação de AQS, esse fator corresponde a uma utilização diária (de forma a manter a temperatura). Já no que diz respeito ao aquecimento e arrefecimento, os fatores traduzem uma não utilização contínua, ou seja, 10 % de uso nas respetivas estações convencionais [Gonçalves, et. al., 2005].

Quer isto dizer que em termos práticos, os edifícios não são aquecidos nem arrefecidos 24h/dia durante a estação em questão [Rodrigues, et al., 2009].

2.5.6 LIMITAÇÃO DAS NECESSIDADES GLOBAIS ANUAIS DA ENERGIA PRIMÁRIA - N_t

Para que o índice N_{tc} seja regulamentar é necessário que a preposição $N_{tc} \leq N_t$ (kgep/m². ano) seja estabelecida.

De forma a proporcionar um melhor desempenho energético dos edifícios, a soma dos limites de cada necessidade (aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS) terá de ser inferior a 90 % para que o edifício cumpra de forma regulamentar um nível superior em 10 % ao que é exigível em todos os índices, inclusive com a qualidade térmica da envolvente.

Se este capítulo se centra em torno da legislação que regula as características de comportamento térmico dos edifícios, o próximo debruça-se sobre os sistemas energéticos responsáveis por assegurar a climatização em edifícios, os quais devem formar com as anteriores um todo coerente, de modo a assegurar a eficiência energética do conjunto final.

²⁸ Ciclo de compressão, corresponde à compressão de vapor, no qual o frigorigénio (designado também por refrigerante, o fluido usado no sistema de produção de frio) é vaporizado e condensado alternadamente, sendo a compressão realizada na fase de vapor [Refrigeration, 2012].

²⁹ O ciclo de absorção, funciona em combinações de substâncias líquidas. Cada substância irá absorver a outra, sem que elas tenham interação química, através de altas e baixas temperaturas [Refrigeration, 2012].

3. REGULAMENTO DOS SISTEMAS ENERGÉTICOS DE CLIMATIZAÇÃO EM EDIFÍCIOS (RSECE)

Nos últimos anos verificou-se que a procura dos sistemas de climatização aumentou em diversos setores, consequência não só do elevado número de construções, mas também da melhoria do nível de vida, que se reflete em maiores exigências de conforto. O uso destes sistemas resultou, no entanto, numa elevada taxa de consumo energético, nomeadamente nos edifícios de serviços.

De forma a controlar, minimizar e evitar investimentos desnecessários, Portugal comprometeu-se em satisfazer compromissos ambientais e energéticos no panorama Europeu. O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) procura introduzir medidas de racionalização, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício, de acordo com a sua funcionalidade, evitando o seu sobredimensionamento, melhorando a sua eficiência energética e proporcionando a redução do consumo energético, levando por consequência a menores emissões de CO₂ [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

O RSECE é direcionado para edifícios de serviços com sistemas de climatização centralizados, tendo por objetivo regulamentar a instalação de equipamento e introduzir medidas de racionalização dos consumos.

Este regulamento tem como princípios [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]:

- De acordo com o tipo de utilização, estabelecer condições de conforto térmico, de higiene, de tratamento de ar e de renovação do ar, de acordo com a função do edifício e tendo em conta uma seleção adequada dos equipamentos;
- Promover a melhoria da eficiência energética global em todos tipos de consumo que lhe são característicos;

- Controlar as tarefas da manutenção relacionada com a QAI e a eficiência energética. Na fase de projeto estas tarefas têm de ser previstas;
- Determinar regras para a eficiência dos sistemas de climatização ao nível de projeto, bem como a atribuição da responsabilidade da instalação e manutenção de forma a melhorar:
 - O desempenho energético;
 - A manutenção para manter uma QAI agradável.
- Estabelecer limites máximos de consumo de energia e de potência a instalar relativamente a sistemas de climatização;
- Impor formas de auditoria periódica aos edifícios;
- Estabelecer requisitos relacionados com a formação profissional para os técnicos³⁰ responsáveis pelo projeto (instalação, manutenção da climatização, eficiência energética e da QAI).

O presente regulamento é exigente em relação aos técnicos em caso de incumprimento regulamentar, determinado mesmo a aplicação de sanções em caso de incumprimento [ADENE, 2012].

3.1. REQUISITOS DE APLICAÇÃO ENERGÉTICA

Os requisitos energéticos são estabelecidos para que em diferentes tipos de edifícios e de utilizações o consumo específico³¹ de energia não seja ultrapassado de acordo com os Anexos X³², XI³³ e XII³⁴ do RSECE. O consumo específico de energia de um edifício traduz a energia utilizada durante um ano por unidade de área [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]. Este valor, também designado “indicador de eficiência energética” (IEE), é, em condições nominais (após a conversão em energia primária) e para efeitos de verificação regulamentar do requisito energético de novos edifícios de serviços, comparado com o valor de referência limite IEE_{ref} [ADENE, 2012].

De uma forma mais específica, este regulamento é aplicado nas seguintes situações [ADENE, 2012]:

³⁰ Técnicos de instalação e manutenção de sistemas de climatização e QAI, são os responsáveis pelos equipamentos associados à climatização e QAI. Estes são distinguidos através de duas formas: os responsáveis por potências nominais inferiores a $4P_m$ e os responsáveis por potências superiores $4P_m$. Estas diferenças são estabelecidas devido a certas valências que estes técnicos têm de ostentar para exercer as referidas responsabilidades [ADENE, 2012].

³¹ O consumo nominal específico é oriundo da simulação do funcionamento de um edifício com base nos padrões nominais [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

³² Anexo X, referente aos valores limite dos consumos globais específicos dos edifícios de serviços existentes [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

³³ Anexo XI, referente aos valores de referência limite dos consumos nominais específicos dos novos edifícios de serviços [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

³⁴ Anexo XII, referente aos valores de referência limite dos consumos nominais específicos alternativos de algumas tipologias de edifícios [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

- Grandes edifícios de serviços ou frações autónomas de serviços, existentes e novos, com área útil superior a 1000 m². Nos casos de grandes edifícios de serviço existentes, o proprietário do edifício deverá submeter um plano de racionalização energética (PRE) caso o consumo específico do edifício ultrapasse o valor máximo regulamentado. Ficará também sujeito a coima anual caso o consumo específico não esteja dentro dos limites;
- Centros comerciais, supermercados, hipermercados e piscinas aquecidas cobertas, com área superior a 500 m²;
- Pequenos edifícios de serviços³⁵ existentes, com sistemas de climatização com potência instalada (P_m) superior a 25 kW;
- Pequenos edifícios de serviços a construir, novos edifícios de habitação com potência de climatização (P_r) superior a 25 kW. Em caso de grande remodelação destes edifícios, o seu consumo anual específico relativamente aos valores padrão não pode ser ultrapassado – $IEE < IEE_{ref}$ (Anexo XV³⁶ do RSECE);
- Relativamente às necessidades nominais específicas relativas aos novos edifícios de habitação e aos pequenos edifícios a construir, são estabelecidas as seguintes condições:
 - $N_{ic} < 80\% N_i$ (RCCTE);
 - $N_{vc} < 80\% N_v$ (RCCTE).

3.2. MANUTENÇÃO DA QAI

Todos os novos edifícios devem ter taxas de renovação de ar (Anexo VI³⁷) de acordo com sua tipologia, utilizando meios naturais, mecânicos ou híbridos e em que a velocidade do ar interior não deve exceder os 0,2 m/s [ADENE, 2012].

No caso de salas de aulas, auditórios, bibliotecas, bares, laboratórios e similares torna-se obrigatória a insuflação de ar novo, com o caudal mínimo de insuflação a variar, consoante os casos, entre os 30 a 35 m³/(h.ocupante), pois considera-se que estas tipologias são de ocupação permanente.

O regulamento não exige um mínimo de caudal de ar novo para os vestiários, arrumos, instalações sanitárias, átrios ou corredores, pois considera-os como espaços sem ocupação permanente [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]. No entanto, nada impede a insuflação de ar novo nestes espaços [ADENE, 2012].

³⁵ Pequenos edifícios, correspondem a edifícios com área útil inferior a 1000 m² [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

³⁶ O Anexo XV apresenta os padrões de referência de utilização dos edifícios [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

³⁷ O Anexo VI apresenta os caudais mínimos de ar novo [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

Em locais em que é permitido fumar, o caudal mínimo de insuflação passará para $60 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$ passando esses espaços para depressão³⁸ em relação aos restantes espaços em que não é permitido fumar [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]. No gráfico 3-1 são apresentadas duas respostas de dois tipos de sensores:

- Sensor de CO_2 – EGQ2³⁹;
- Qualidade de ar – EGQ1⁴⁰.

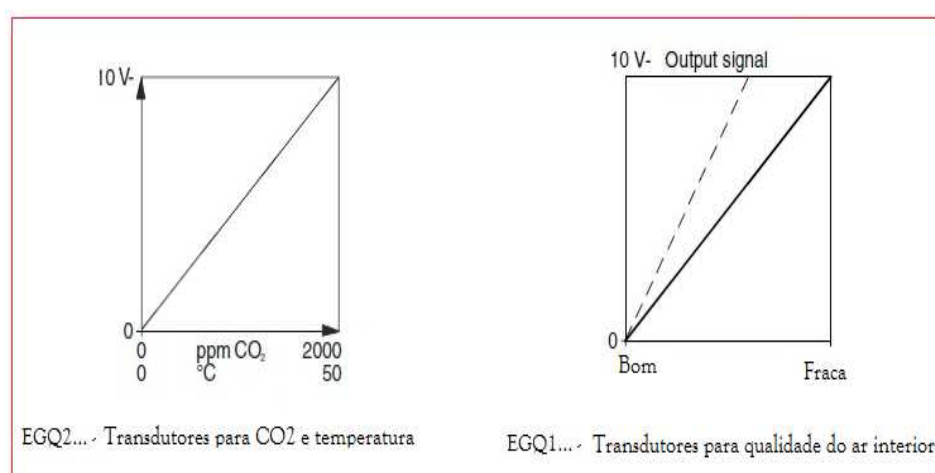


Gráfico 3-1: Respostas dos sensores de CO2 e Qualidade do ar interior [Sauter, 2012] (adapt.)

Nos edifícios de serviços existentes, as auditorias à QAI são de carácter obrigatório, sendo medidas as concentrações dos poluentes. Sempre que haja não conformidades (NC) dever-se-á tomar medidas para que estas desapareçam [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril] [ADENE, 2012].

As distâncias mínimas para a colocação de pontos de exaustão e de insuflação de ar novo num edifício novo devem ser determinadas de acordo com a norma americana “ASHRAE” [ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010] ou ajustadas ao local, mantendo a mesma ordem de grandeza para que as concentrações de poluentes sejam inferiores ao limite estabelecido pelo anexo VII⁴¹ do RSECE [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril] [ADENE, 2012].

³⁸ Espaços em depressão – espaços em que deve haver mais taxa de extração do que insuflação de ar, para que a concentração poluente se suma mais rapidamente.

³⁹ O sensor EGQ2 é usado para medição seletiva do conteúdo de CO_2 e da temperatura do ar ambiente como base para a ventilação em função das necessidades. O nível de CO_2 serve como um indicador de odor corporal humano e ar exalado [Sauter, 2012].

⁴⁰ O sensor EGQ1 mede uma concentração relativa de mistura de gases (fumo de tabaco, odor corporal humano, cheiros de cozinhas e agentes de limpeza) [Sauter, 2012].

⁴¹ Estabelece as concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios existentes.

3.3. CLIMATIZAÇÃO

As condições ditas de conforto num edifício são essenciais no sentido do desenvolvimento de qualquer atividade, incluindo as de lazer. O conceito de conforto térmico não segue uma função proporcional em relação ao custo. A consonância cuidada do conforto térmico e do custo proporciona aos utilizadores conforto com poupança energética [Climatização, 2012].

Das várias aplicações que normalmente se utiliza para melhorar a sensação de conforto térmico destacam-se as seguintes:

- Piso radiante;
- Caldeiras de condensação⁴² ou de biomassa⁴³;
- Bombas de calor.

É desejável que os dois últimos equipamentos referidos sejam de rendimento energético elevado.

3.3.1 LIMITAÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA

As potências de climatização não podem ultrapassar em mais de 40 % o valor calculado por qualquer método de cálculo adotado para o dimensionamento dos sistemas de climatização⁴⁴ [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]. Matematicamente, $P_m \leq 1,4 \cdot P_{\text{simulação}}$ sendo que $P_{\text{simulação}}$ deve ser obtido, conforme os casos, através da simulação dinâmica detalhada⁴⁵ ou da simulação dinâmica simplificada⁴⁶ [ADENE, 2012].

Caso se recorra a uma bomba de calor (aquecimento e arrefecimento) para a climatização, apenas uma das potências instaladas poderá exceder o limite de 25 kW [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

⁴² Caldeiras de condensação, máquinas de aquecimento de água que normalmente utilizam combustíveis fósseis (gás e/ou gasóleo) [ADENE, 2012].

⁴³ Caldeiras de biomassa, em alternativa às de condensação, utilizam *pellets*. Este tipo de combustível é comparável a uma fonte de energia renovável, pois considera-se que é não emissor de gases de efeito de estufa [ADENE, 2012]. O seu uso aporta a mesma comodidade que o gasóleo ou o gás.

⁴⁴ Método de cálculo para o dimensionamento de sistemas de climatização: simulação dinâmica detalhada ou simulação dinâmica simplificada [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

⁴⁵ Simulação dinâmica detalhada é um método de cálculo simulado obrigatório para os grandes edifícios de serviços [ADENE, 2012] [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

⁴⁶ Simulação dinâmica simplificada consiste num método direcionado para os pequenos edifícios de serviços e para os edifícios de habitação [ADENE, 2012] [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

3.3.2 REQUISITOS DE QUALIDADE

Em termos de qualidade, no que se refere à climatização, deve-se ter em conta a utilização de um sistema com o mínimo de consumo energético e que seja eficaz, ou seja, que produza calor ou frio mantendo a temperatura desejável e a qualidade do ar interior aceitável.

Os requisitos de conforto térmico para os novos edifícios de serviços bem como os existentes sujeitos a grandes alterações, devem obedecer aos requisitos mínimos de qualidade impostos pelo RCCTE de acordo com o Anexo IX [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

3.3.2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO PROJETO DE NOVOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO

A lista de requisitos de eficiência energética no projeto de novos sistemas de climatização a seguir enunciada, é de carácter obrigatório [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]:

- Em todos os edifícios com mais do que uma fração autónoma, cuja soma das potências seja superior a 100 kW, deve-se ter um sistema com produção térmica centralizada;
- Deve-se recorrer a sistemas de climatização que utilizem fontes renováveis (desde que constem na lista da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) [DGEG, 2012]), de acordo com o zonamento bem como com as funções do edifício, sendo prioritário o uso das seguintes alternativas:
 - Sistema de coletores solares planos para a produção AQS;
 - Quando presentes, sistemas de aproveitamento de biomassa, de resíduos, de energia geotérmica;
 - Sistemas autónomos com combinação das várias alternativas quando em zonas distantes da rede pública elétrica.
- Caso exista no local ou na sua proximidade, sistemas de redes urbanas de distribuição de calor e frio, é necessário efetuar a sua ligação;
- Para edifícios com área útil superior a 10.000 m², devem-se instalar sistemas próprios de cogeração⁴⁷;
- A utilização de potência elétrica para aquecimento por fração autónoma terá de ser inferior a 5% da potência térmica de aquecimento (até 25 kW);
- Para os sistemas que apenas fazem arrefecimento (por exemplo: *Chillers*⁴⁸) é permitido o uso do reaquecimento terminal, desde que não ultrapasse 10% da potência do sistema de frio;

⁴⁷ A cogeração é um processo de produção e utilização combinada de calor e eletricidade, e em que mais de 70% da energia térmica provém dos combustíveis utilizados [Cogeração, 2012].

- Os equipamentos de insuflação “tudo ar” ⁴⁹ devem ter a possibilidade de fazer o arrefecimento gratuito, ou tecnicamente “free-cooling”⁵⁰ (figura 3-2), sempre que estes tenham um caudal superior a 10.000 m³/h.

Na figura 3-1 e 3-2 estão representados dois sistemas de recuperação utilizados normalmente. Na figura 3-1, a recuperação do calor é feita através de uma roda térmica, em que o ar quente vindo do sistema de extração é transportado para a insuflação (sem existir misturas de ar). Sempre que a temperatura de retorno seja superior à temperatura de ar novo, e o pedido da instalação seja para aquecimento, o ar de extração é aproveitado, reduzindo o tempo de utilização da válvula e, por consequência, reduzindo o consumo energético a partir da central térmica. A este processo de aproveitamento calorífico dá-se o nome de “free-heating”.

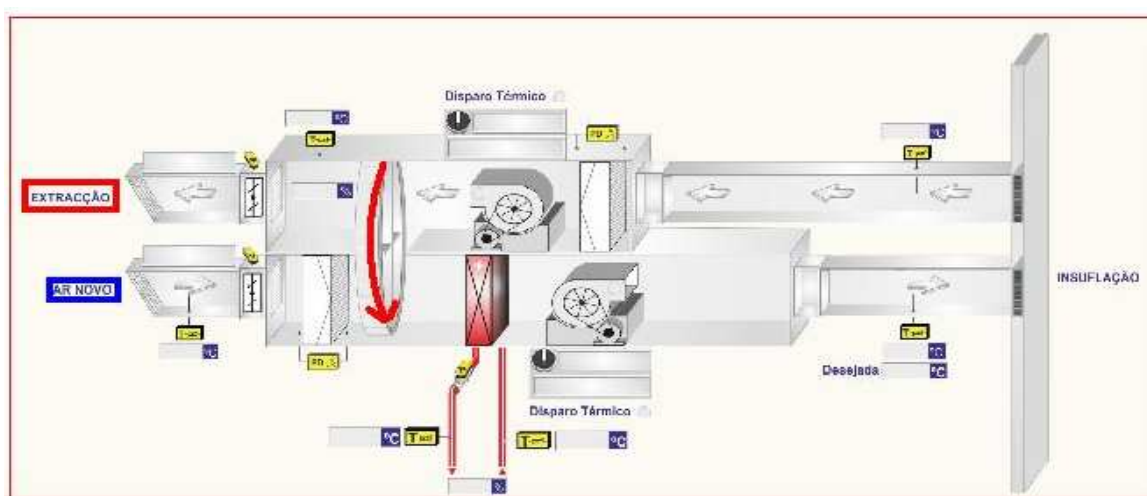


Figura 3-1: Exemplo: UTAN com recuperação através de roda térmica

Na figura 3-2 está representado um exemplo de como se pode fazer a recuperação em quente (*free-heating*) e frio (*free-cooling*), através de um sistema de permutação de ar usando uma bateria de água no retorno e na insuflação. Sempre que a temperatura de retorno seja superior ou inferior (inverno ou verão) à temperatura de ar novo, ativar-se-á a bomba hidráulica, de forma a fazer a circulação hidráulica aproveitando o ar de retorno mais quente ou mais frio para a insuflação e reduzindo o

⁴⁸ Máquina frigorífica (compressão ou absorção) que produz frio através do arrefecimento de um circuito por um determinado tipo de fluido [Climatização, 2012].

⁴⁹ Equipamento de insuflação “tudo ar”, corresponde ao equipamento designado por unidade de tratamento de ar novo - UTAN - em que se efetua o tratamento apenas de ar novo [Honeywell, 2012]. A unidade de tratamento de ar - UTA, faz o tratamento do ar correspondente à mistura do ar de extração com o de insuflação, através do recurso a registos motorizados [Piedade, et al., 1996].

⁵⁰ “Free-cooling”, este tipo de aproveitamento é utilizado quando as condições exteriores são benéficas em relação ao interior da fração, ou seja, sempre que a temperatura exterior seja inferior à temperatura desejada (*set-point*) [Climatização, 2012].

tempo de utilização da válvula associada à 2ª bateria na insuflação, resultando numa redução do consumo térmico.

Com a imposição deste tipo de requisitos, espera-se que em qualquer instalação o sistema de climatização possa fornecer condições de conforto e QAI que melhorem a qualidade de vida dos utilizadores, mantendo, no entanto, um elevado nível de eficiência energética.

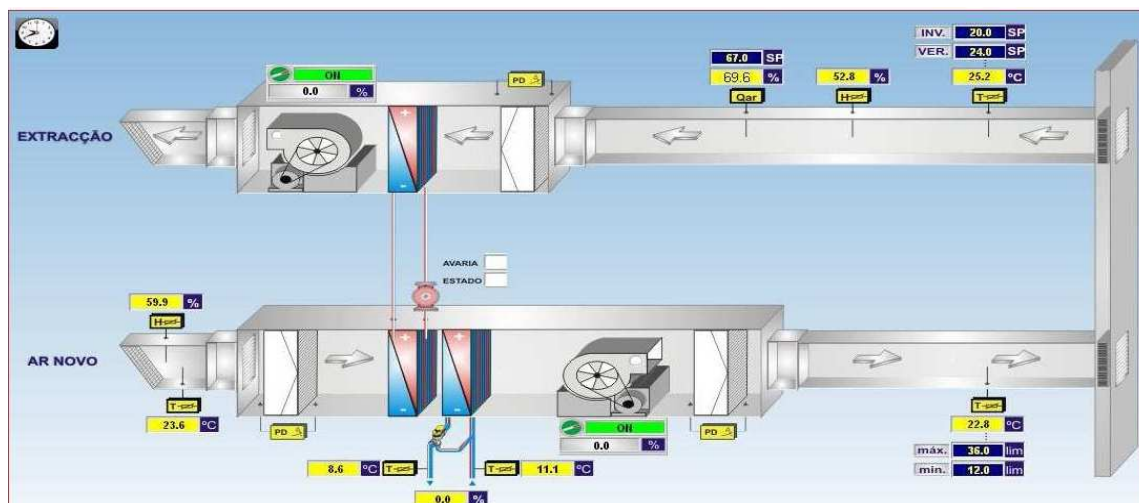


Figura 3-2: Exemplo: UTAN com recuperação através de bateria térmica

Independentemente da viabilidade económica, são impostos ainda um conjunto de requisitos regulamentares obrigatórios [ADENE, 2012]:

- Recurso a unidades individuais de climatização com potência até 12 kW em edifícios de serviços licenciados após entrada em vigor do DL 118/98 [Dec.-Lei n.º 118/1998 de 7 de Maio];
- Utilização de meios de leitura e equipamentos do consumo de energia (figura 3-3) em sistemas de climatização, como, por exemplo, analisadores de energia e contadores de entalpia⁵¹;
- Uso de dispositivos de monitorização e manutenção preventiva (pressostatos, indicadores luminosos, filtros de ar, etc.);
- Uso de equipamentos de aquecimento e arrefecimento com valores de rendimento energético superiores aos valores das diretivas europeias (tabela 2.5);
- Obrigatoriedade de contagens individuais de consumo energético nos sistemas de climatização com:
 - Potência elétrica superior a 12 kW;
 - Potência térmica (combustíveis fósseis) superior a 100 kW.

⁵¹ Contadores de entalpia, têm como objetivo contar a energia térmica (calor ou frio) consumida no edifício/fração.

- Utilização de motores com classificação mínima EF2⁵²;
- O sistema hidráulico (aquecimento e arrefecimento) deve ser envolvido por materiais termicamente isolantes.

Na figura 3-3 estão ilustradas formas de leitura de consumo energético através de medidores de energia elétrica (tensão, corrente, potência, etc.) e de contagem entálpica (consumos instantâneos caudais, energia, etc.).



Figura 3-3: Exemplo: Aplicações de leitura de consumos energéticos [CARLO GAVAZZI, 2012]
[Sauter, 2012]

Esta última forma de contagem utiliza o diferencial térmico bem como impulsos de caudal através de um contador de água para calcular o consumo. A figura 3-4 ilustra a forma de ligação deste tipo de contadores.

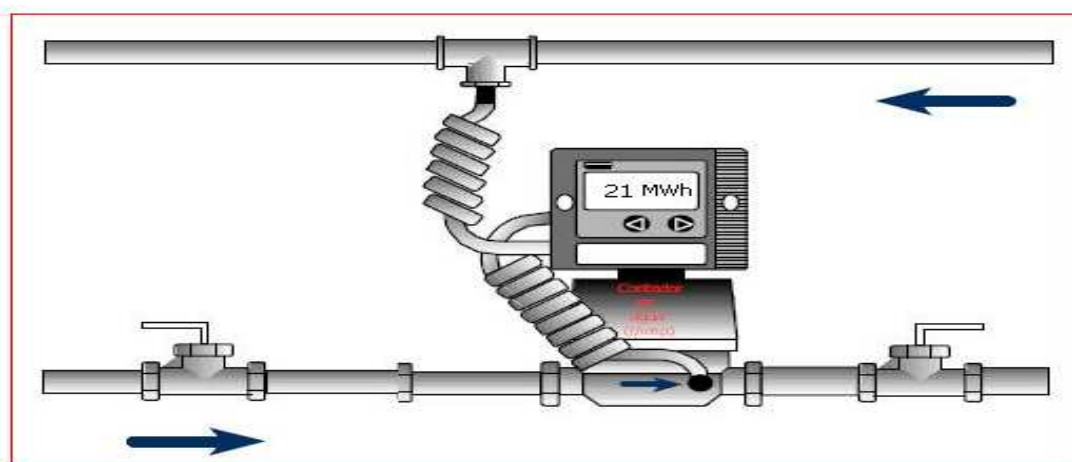


Figura 3-4: Exemplo: Ligação de um integrador de entalpia [Sauter, 2012]

⁵² Classificação EF2 [CEMEP, 2012], traduz o grau de eficiência do motor, sendo que a potência nominal (kW) é diretamente proporcional à sua eficiência (%). Neste caso, é designado por “rendimento normal”.

Estas contagens, entre outros, visam recolher dados da instalação de forma a tomar decisões com o objetivo de melhorar a eficiência energética de um edifício e consequentemente reduzir a fatura energética.

3.3.2.2 REGULAÇÃO E CONTROLO

O controlo é uma característica intrínseca dos sistemas de climatização [ADENE, 2012]. A aplicação de sistemas de controlo e regulação é obrigatória, existindo um conjunto de funcionalidades que devem estar presentes:

- Possibilidade de limitação da temperatura máxima e mínima;
- Possibilidade de regulação das potências de aquecimento e arrefecimento;
- Possibilidade de controlo (fecho ou redução) da potência dependendo do espaço ou da funcionalidade do espaço.

Estas funcionalidades são percetíveis nas figuras 3.1 e 3.2.

3.3.2.3 MONITORIZAÇÃO E GESTÃO DA ENERGIA

Sempre que a potência de climatização a instalar seja superior a 200 kW, os edifícios têm de adotar sistemas de gestão técnica centralizada (GTC) de energia, compostos por sensores, atuadores, controladores e programas de interface de monitorização/gestão do sistema de climatização [ADENE, 2012]. Em sistemas em que a potência térmica seja inferior a 200 kW, o caráter obrigatório não é aplicado, mas é aconselhável o recurso à GTC. No gráfico 3-2 é apresentado um exemplo de uma resposta típica de temperatura de um sistema de gestão técnica.

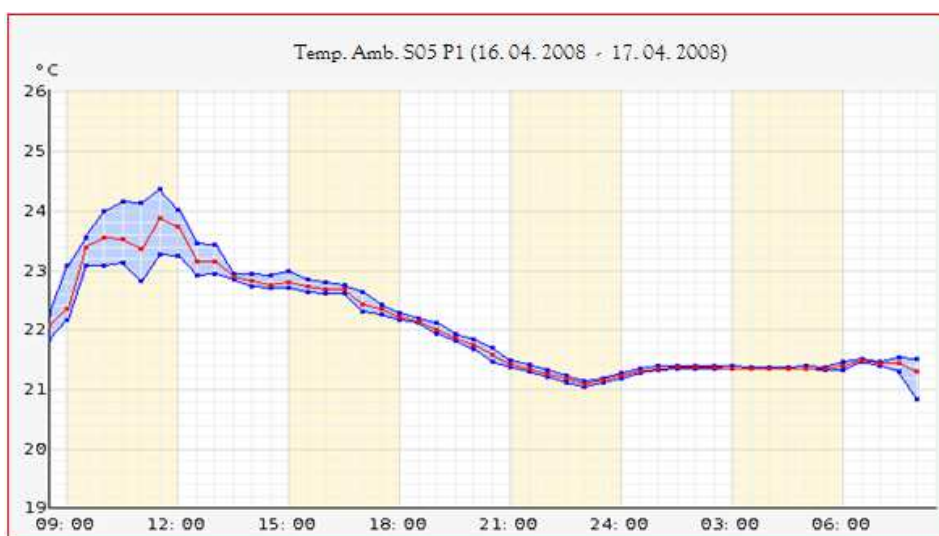


Gráfico 3-2: Exemplo: Resposta da temperatura ambiente de uma divisão

3.3.3 MANUTENÇÃO

Para que os conceitos “eficiência energética” e “QAI” sejam predominantemente mantidos e alcançáveis, o RSECE estabelece o plano de manutenção preventiva (PMP), do qual devem constar as seguintes informações:

- A identificação completa do edifício e respetiva localização;
- A identificação e contatos do técnico responsável e do proprietário da instalação;
- O nível de qualificação que os técnicos devem possuir;
- A indicação da potência térmica total;
- Uma *checklist* das ações de manutenção e prevenção;
- Um registo de anomalias;
- Um diagrama de princípio de funcionamento das centrais, bem como a documentação técnica de suporte para os sistemas utilizados nos respetivos locais (na figura 3-5 está representado um exemplo típico de um diagrama);
- Um plano de contingência, por questões de segurança.

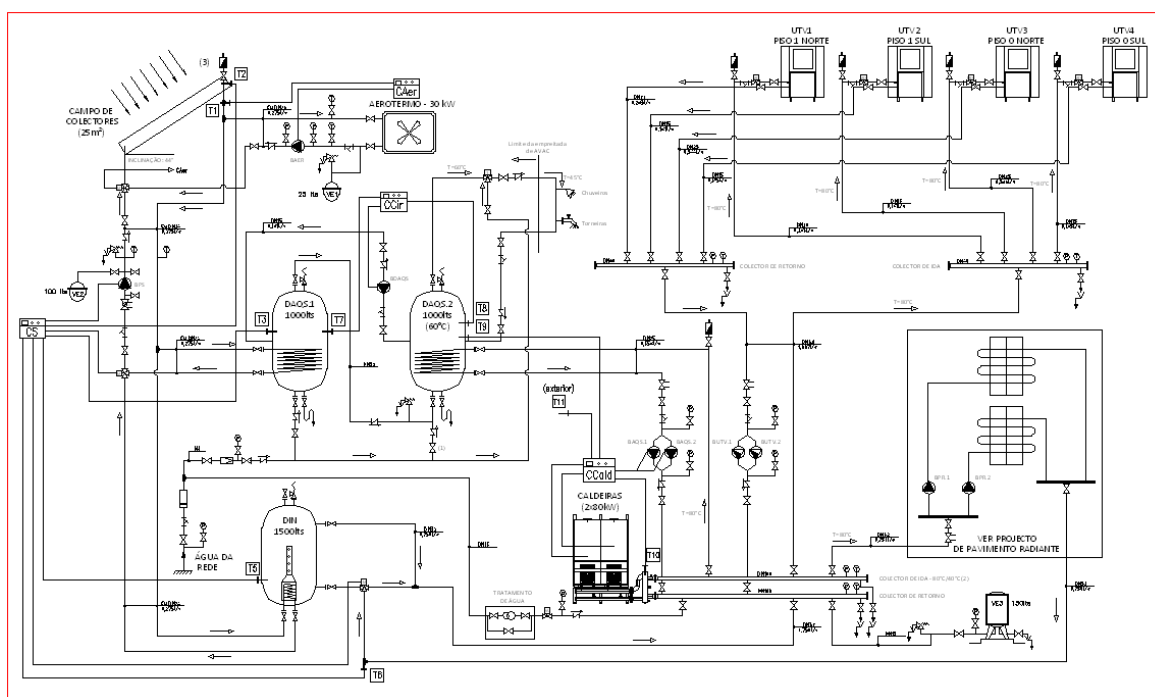


Figura 3-5:Exemplo: Diagrama de princípio do centro escolar de Ponte da Barca

No que diz respeito à manutenção da QAI deve-se ter em conta as condições de higiene do sistema de aquecimento, de ventilação e de ar condicionado (AVAC) através de inspeções visuais (estado dos filtros, condutas, estanquicidade das condutas, etc.).

3.3.4 AUDITORIAS

As auditorias servem para fazer uma avaliação energética e da QAI num edifício ou fração, de forma a verificar se os requisitos do RSECE estão a ser cumpridos [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

Ao efetuar uma auditoria, deve-se ter em conta a referência energética associada ao edifício ou fração, de forma a prover as medidas que tendam a alcançar a redução dos consumos de energia, proporcionando ações relevantes para tal, bem como, se necessário, medidas para melhorar a QAI. A periodicidade⁵³ das auditorias energéticas bem como as da QAI pode ser de 2, 3 ou 6 anos, conforme a utilização do edifício, quando este funciona em condições ditas normais [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

A periodicidade das auditorias relativas a caldeiras e equipamentos de ar condicionado são estabelecidas através de certas condições de potência nominal, segundo o artigo 36º do Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril.

Após o estudo das condições regulamentares diretamente implicadas na eficiência energética de um edifício, o próximo capítulo é dedicado à certificação energética dos edifícios, ou seja, à avaliação quer em obra, quer no seu final, da eficiência energética de um edifício em concreto, tendo já em conta a sua funcionalidade futura. A avaliação, por simulação, em obra, é importante para a determinação de certos parâmetros que são necessários para os cálculos a efetuar para estabelecer quais os materiais a usar e os aspetos construtivos que se devem seguir, bem como os equipamentos a instalar, de modo a garantir o resultado final, em termos de desempenho energético último e total do conjunto.

⁵³ A periodicidade das auditorias é contada a partir da data de licença de utilização do edifício ou fração [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

4. CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA

O surgimento do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior (SCE) deve-se à diretiva 2002/91/CE de 2002 [Diretiva 2002/91/CE] que avalia/certifica o desempenho energético e da qualidade do ar interior dos edifícios. O propósito deste sistema de certificação consiste em informar as pessoas no momento da construção, da venda ou arrendamento sobre a qualidade térmica dos edifícios e do ar interior. No caso de edifícios novos ou existentes (grandes intervenções), os utilizadores futuros podem ficar a saber quais os prováveis consumos de energia [ADENE, 2012].

O lançamento dos certificados energéticos e das declarações de conformidade regulamentares (DCR) é da responsabilidade dos peritos qualificados (PQ)⁵⁴, os quais utilizam um software da ADENE para a emissão e registo dos documentos [ADENE, 2012]

O DCR corresponde à:

- Prova do cumprimento regulamentar;
- Avaliação do desempenho energético;
- Avaliação do desempenho da QAI na fase de projeto.

O certificado energético inclui informações tais como:

- Identificação do imóvel
- Identificação do PQ;
- Etiqueta de desempenho energético;
- Validade do certificado;

⁵⁴ Peritos Qualificados (PQ) são indivíduos responsáveis pela condução do processo de certificação energética dos edifícios em que se certifica a conformidade com o SCE, bem como a aplicação correta do RCCTE e RSECE.

- Descrição sucinta do imóvel;
- Descrição das soluções adotadas;
- Valores de referência para que os utilizadores/consumidores possam comparar e avaliar o desempenho energético do edifício;
- Resumo de possíveis medidas de melhoria propostas.

O certificado energético, no caso dos edifícios novos, tem o mesmo objetivo mas para o final da obra. Por vezes, não existindo alterações fundamentais, o certificado pode ser muito semelhante à DCR, porque esta funciona como um pré-certificado [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril] [ADENE, 2012].

No que diz respeito aos edifícios existentes, o documento que avalia o desempenho energético e QAI e que fornece indicações sobre melhorias do desempenho é o certificado energético [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

A certificação energética para os edifícios novos é um processo documentado, no qual é fornecida a informação sobre o desempenho em termos energéticos em condições normais de utilização, comprovando assim a aplicação da regulamentação térmica e da qualidade do ar interior [ADENE, 2012].

4.1. SIMULAÇÃO DINÂMICA

A simulação dinâmica consiste num método analítico computacional dos consumos energéticos e da arquitetura do edifício [ADENE, 2012].

A simulação tem como finalidade a determinação das potências de aquecimento e de arrefecimento, ou seja, o dimensionamento do sistema de climatização [ADENE, 2012] e a determinação dos consumos específicos nominais do edifício ($IEE_{nominal}$ e IEE_{ref}).

Dependendo da forma de utilização e de funcionamento, a simulação dinâmica, por ser um método de análise do desempenho energético, permite a avaliação quantitativa dos consumos prováveis de energia do edifício e dos sistemas instalados através da atribuição de classes de desempenho. Este método é bastante útil e necessário para ensaiar diferentes opções de projeto, tendo em conta a utilização do edifício, possibilitando a determinação de vários índices e parâmetros (N_{ic} , N_{vc} , Q_t , Q_i , entre outros) relacionados com o comportamento térmico dos edifícios [ADENE, 2012].

Relativamente aos edifícios contemplados pelo Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, este processo de simulação tem como objetivo encontrar o IEE e dimensionar os sistemas de climatização.

Nos pontos seguintes (4.1.1 e 4.1.2) são apresentadas as características gerais das duas formas de simulação.

4.1.1 SIMULAÇÃO DINÂMICA DETALHADA

Tal como referido no ponto 3.3.1, este tipo de simulação é direcionado para a análise de grandes edifícios de serviços, podendo-se conjugar e simular em simultâneo várias zonas do edifício, utilizando programas acreditados pela norma da ASHRAE140-2004 [ANSI/ASHRAE Standard 140-2004] [Building Technologies, 2012] [ADENE, 2012], tais como o *TRACE 700* da empresa Trane [TRANE, 2012] ou o *HAP* da empresa Carrier [CARRIER, 2012].

No Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril estão definidos no anexo VIII os elementos mínimos que este método de simulação deve conter, tais como:

- Características da envolvente do edifício;
- Condições climáticas exteriores e interiores;
- Instalação de ar condicionado;
- AQS;
- Proteções solares;
- Entre outros.

Com este tipo de programas é possível obter dados de consumos repartidos, ou seja, a partir de uma gama horária existe a hipótese de obter perfis de necessidades de aquecimento e de arrefecimento, temperaturas ambientes, entre outras possibilidades [ADENE, 2012].

A simulação detalhada, em geral, tem diversas características relacionadas com a descrição [ADENE, 2012]:

- Dum edifício;
- Da central térmica;
- Dos sistemas de climatização;
- Dos parâmetros económicos que se relacionam com a viabilidade económica do projeto.

4.1.2 SIMULAÇÃO DINÂMICA SIMPLIFICADA

Este método é utilizado para a determinação das necessidades e consumos energéticos específicos e também para o dimensionamento de sistemas de climatização, desde que seja em pequenos edifícios de serviços e em edifícios residenciais [Climatização, 2012] [ADENE, 2012].

O programa de simulação *RCCTE-STE*, o qual pode ser usado para este tipo de edifícios, faz de hora a hora a contabilização da diferença entre as perdas e os ganhos térmicos (vãos envidraçados e envolvente opaca) [ADENE, 2012].

4.1.3 INDICADOR DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – IEE

O indicador de eficiência energética, medido em kg de energia primária por metro quadrado e por ano, $\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$, aglomera a totalidade dos consumos de um edifício (a climatização, iluminação, equipamentos, AQS, etc.) sendo calculado a partir dos consumos nominais ou reais de energia de um edifício durante um ano [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

O IEE pode tomar várias formas, indicando outros tantos valores de referência, tais como [ADENE, 2012]:

- Consumo específico real do edifício (IEE_{real}), obtido a partir da análise das faturas energéticas ou de auditoria com simulação utilizando os perfis reais de utilização;
- Consumo específico nominal do edifício ($\text{IEE}_{\text{nominal}}$ e IEE_{ref}), em que se utilizam valores de perfis nominais do anexo XV do Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril. Na fase de projeto, este valor de IEE_{ref} pode revelar o consumo estimado para o edifício, utilizando os perfis previstos no anexo X ou XI do RSECE [ADENE, 2012].

O IEE total corresponde ao somatório [ADENE, 2012]:

- Do IEE_t e IEE_v , que traduzem os indicadores de eficiência energética de aquecimento e arrefecimento ($\text{kgep/m}^2\cdot\text{ano}$), respetivamente;
- E da razão matemática entre Q_{out} e $A_p \cdot Q_{\text{out}}$, que consiste no consumo de todas as outras cargas (iluminação, elevadores, etc.), exceto aquecimento e arrefecimento (kgep/ano), e A_p na área útil do pavimento (m^2).

Cada indicador (aquecimento e arrefecimento) é influenciado pelo respetivo fator de correção de consumo FC_t e FC_v [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril], que tem em conta as diferenças das necessidades de aquecimento e arrefecimento devido à "dureza" do clima em questão [ADENE, 2012].

Os consumos da ventilação e das bombas de circulação terão de ser associados aos consumos de aquecimento e arrefecimento para a determinação do IEE total [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

Relativamente ao $\text{IEE}_{\text{nominal}}$ e $\text{IEE}_{\text{referência}}$, se o edifício contiver mais que um espaço, estes valores devem ser afetados pela respetiva área do espaço [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

De uma forma mais prática e simples, a tabela 4-2 explicita as várias formas de analisar o IEE:

IEE	Designação	Formulação	Finalidade
$IEE_{real, facturas}$	IEE_{real} - edifícios existentes	Análise das faturas energéticas dos 3 anos anteriores, sem correção climática.	- Verificação regulamentar simplificada do requisito energético em edifícios existentes. Possibilidade ou não de PRE.
$IEE_{real, simulação}$	IEE_{real} - simulação	Simulação dinâmica: usando os perfis reais previstos ou determinados em auditoria, com correção climática	- 1ª Auditoria de edifícios novos após o 3º ano de utilização. - Verificação regulamentar detalhada do requisito energético em edifícios existentes. Possibilidade ou não de PRE.
IEE_{nom}	$IEE_{nominal}$	Obtido por simulação dinâmica com base nos perfis nominais definidos no anexo XV do RSECE.	- Verificação regulamentar do requisito energético em edifícios novos. - Classificação energética do edifício (novo ou existente).
$IEE_{ref, novo}$	IEE_{ref} limite para edifícios novos	Anexo XI.	- Verificação regulamentar do requisito energético em edifícios novos. - Indicação da classificação energética do edifício (novo ou existente).
$IEE_{ref, exist}$	IEE_{ref} limite edifícios existentes	Anexo X.	- Verificação regulamentar do requisito energético em edifícios existentes. Possibilidade ou não de PRE.

Tabela 4-1: Indicador de Eficiência Energética (adapt.) [ADENE, 2012]

É de salientar, caso a análise de faturas seja feita, que o IEE_{real} calculado sê-lo-á sem correção climática [EN ISO 13370:2007]. Sempre que o $IEE_{calculado}$ de um determinado tipo de edifício (existente) [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril] ultrapasse o consumo específico, dever-se-á efetuar um plano de racionalização energética (PRE) para reduzir consumos energéticos, ou seja, terá de ser feita uma auditoria e simulação detalhada para encontrar soluções alternativas para reduzir o consumo.

4.1.3.1 INDICADORES ENERGÉTICOS

Os edifícios de serviços e de habitações utilizam as mesmas classes, mas com diferentes tipos de indicadores. Na tabela 4-2 encontram-se de uma forma simplificada os indicadores correspondentes a cada edifício, associado à norma regulamentar usada.

Quando o IEE calculado é superior ao valor limite do respetivo padrão limite do edifício, é necessária a submissão do PRE à DGEG [ADENE, 2012].

4.1.4 PLANO DE RACIONALIZAÇÃO ENERGÉTICA – PRE

O PRE corresponde a um conjunto de medidas para a racionalização energética, formulado depois de uma auditoria no âmbito regulamentar do RSECE, e que tem como finalidade a sua execução e a sua viabilidade económica.

Indicadores utilizados				
			Indicador	
Edifício		Regulamento	Indicador	Referência
Habitação	Sem climatização	RCCTE	N_{tc}	N_t
	Com climatização	RCCTE + RSECE	N_{tc}	N_t
Pequeno edifício de serviços	Sem climatização	RCCTE	N_{tc}	N_t
	Com climatização	RSECE	IEE_{nom}	$IEE_{ref, novos}$; valor de S^{55}
Grande edifício de serviços		RSECE	IEE_{nom}	$IEE_{ref, novos}$; valor de S

Tabela 4-2: Indicadores de referência [ADENE, 2012]

As medidas referidas no PRE são para serem exequíveis até 3 anos após a data de emissão do certificado energético, em situações que tenham um período de retorno simples (PRS)⁵⁶ inferior a 8 anos [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

O objetivo das medidas tem sempre como finalidade melhorar o grau de eficiência, bem como reduzir o custo da exploração associado à implementação anterior.

4.1.5 VIABILIDADE ECONÓMICA

O PRS corresponde à razão entre o “custo adicional de investimento, calculado pela diferença entre o custo inicial da solução” (C_a), anteriormente utilizada, e a “poupança anual resultante da aplicação mais eficiente” (P_1) [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

Sem dúvida que a viabilidade económica é importante no âmbito regulamentar, mas por vezes a estética, a facilidade de uso e a aceitação do mercado são também fatores que pesam quando se pretende implementar uma medida de redução energética [Climatização, 2012] [ADENE, 2012].

4.2. CLASSES DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

O certificado energético e a DCR determinam a classificação dos edifícios em termos do seu desempenho energético a partir das condições típicas de funcionamento. Os consumos reais medidos, por vezes, não correspondem aos valores que estão registados no certificado ou declaração,

⁵⁵ Parâmetro S, corresponde à soma dos consumos específicos (aquecimento, arrefecimento e iluminação), de acordo com a simulação dinâmica que originou os valores limites de referência para os edifícios novos [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]. Estes valores estão presentes no anexo IV do despacho n.º 10250/2008 [Desp. n.º 10250/2008].

⁵⁶ Período de retorno simples (PRS), corresponde à avaliação dos custos de energia constantes e iguais aos do momento do investimento, não considerando custos financeiros ou de inflação. Este parâmetro só é aplicado para demonstrar que uma certa medida não tem viabilidade económica [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

pois os valores reais dependem essencialmente do tipo de utilização do edifício [Climatização, 2012]. A classificação energética de um edifício tem uma escala pré-definida de 9 classes (figura 4-1), em que a letra G traduz um desempenho energético fraco e a letra A+ corresponde a um desempenho energético da melhor qualidade [Dec.-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril].

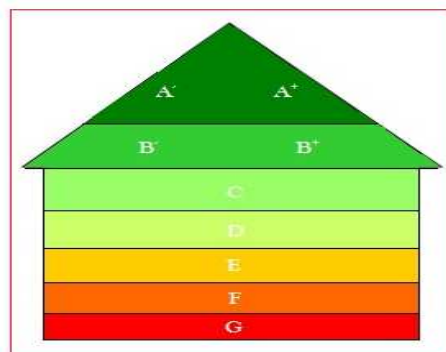


Figura 4-1: Classe energética

As classes energéticas nos edifícios novos com pedido de licença de construção após a entrada em vigor do SCE, variam apenas entre as classes A+ e B. Para os edifícios existentes, a gama a utilizar varia entre A+ a G [ADENE, 2012].

4.2.1 CLASSIFICAÇÃO NO RCCTE

A metodologia utilizada para a classificação de edifícios regulamentados pelo RCCTE⁵⁷ é traduzida pela razão entre as necessidades anuais globais de energia primária e o respetivo limite dessas necessidades.

A tabela 4-3 representa a correspondência da classificação relativa aos edifícios em que o RCCTE é a base regulamentar.

4.2.2 CLASSIFICAÇÃO NO RSECE

O método de cálculo para a classificação de edifícios regulamentados pelo RSECE⁵⁸ depende dos valores do IEE_{nom} , IEE_{ref} e do valor de um parâmetro S. A tabela 4-4 corresponde à classificação associada aos edifícios regulamentados pelo RSECE.

⁵⁷ Dos edifícios regulamentados pelo RCCTE fazem parte os edifícios de habitação (com e sem sistemas de climatização) e pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização ou com sistemas de climatização inferior a 25 kW de potência instalada [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

⁵⁸ Edifícios regulamentados pelo RSECE são os edifícios de serviços (grandes ou pequenos) com sistemas de climatização com uma potência instalada superior ou igual a 25 kW [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

Edifícios		Classe energética	$R = \frac{N_{rc}}{N_t}$
Existentes	Novos	A +	$R \leq 0,25$
		A	$0,25 < R \leq 0,50$
		B	$0,50 < R \leq 0,75$
		B -	$0,75 < R \leq 1,00$
		C	$1,00 < R \leq 1,50$
		D	$1,50 < R \leq 2,00$
		E	$2,00 < R \leq 2,50$
		F	$2,50 < R \leq 3,00$
		G	$3,00 < R$

Tabela 4-3: Classificação energética no âmbito do RCCTE [ADENE, 2012]

Edifícios		Classe energética	IEE _{nom} (kgep/m ² .ano)
Existentes	Novos	A +	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,75.S$
		A	$IEE_{ref} - 0,75.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,50.S$
		B	$IEE_{ref} - 0,50.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} - 0,25.S$
		B -	$IEE_{ref} - 0,25.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref}$
		C	$IEE_{ref} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 0,5.S$
		D	$IEE_{ref} + 0,5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + S$
		E	$IEE_{ref} + S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 1,5.S$
		F	$IEE_{ref} + 1,5.S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref} + 2.S$
		G	$IEE_{ref} + 2.S < IEE_{nom}$

Tabela 4-4: Escala para edifícios (RSECE) utilizada na classificação energética [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]

O certificado energético e da qualidade do ar interior associado a edifícios ou frações, emitido por um PR, corresponde à classificação do imóvel em termos do seu desempenho energético.

Estudadas as imposições regulamentares e a forma de determinação das variáveis necessárias tendo em conta o grau de certificação energética imposto ou que se pretende atingir, o capítulo 5 é inteiramente dedicado ao estudo de um caso concreto de aplicação.

5. CASO DE ESTUDO

Este caso de estudo tem como objetivo ilustrar, na prática, a forma como se deu cumprimento às normas regulamentares e aos estudos de eficiência energética apresentados nos capítulos anteriores para um estabelecimento de ensino em Ponte da Barca, estudos esses que justificam as escolhas dos sistemas e equipamentos que aí foram instalados. As escolhas são, além do mais, suportadas sempre do ponto de vista da sua implementação prática, da sua viabilidade económica e da sua sustentabilidade.

Os dados climáticos referentes à localização do edifício de acordo com o anexo III do RCCTE estão representados na Tabela 5.1.

Localização	Ponte da Barca
Zona Climática de inverno	I ₃
Número de Graus-Dias de Aquecimento	2230
Duração da Estação de Aquecimento (meses)	7
Zona Climática de verão	V ₂
Temperatura externa de Projeto	32 °C
Amplitude Térmica	14 °C

Tabela 5.1: Zona climática e dados climáticos de referência

O edifício tem fachadas com uma orientação bem definida, Sul, Norte, Este e Oeste, sendo que a entrada principal está orientada a Sul. Encontra-se a uma altitude média de 73 m, sendo que de acordo com o Quadro III.2 e Quadro III.3 do Dec.-Lei 80/2006, não há lugar a nenhuma correção em função da altitude. Trata-se de uma fração autónoma de serviços em que o tipo de atividade é o ensino [Dec. Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril] e apresenta uma área superior a 1000 m².

De acordo com a área e a tipologia do edifício em análise, o regulamento a aplicar é o RSECE, sendo necessário, por isso, demonstrar as seguintes conformidades regulamentares:

- Verificação dos requisitos mínimos de qualidade térmica, de acordo com o Anexo IX do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios [Dec. Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril];
- Determinação do consumo nominal específico de energia, de acordo com o nº1 do art. 8º do RSECE [Dec. Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril];
- Limitação da potência instalada no sistema de climatização, de acordo com o art. 13º do RSECE [Dec. Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril];
- Requisitos de eficiência energética do sistema de climatização, de acordo com o art. 14º do RSECE [Dec. Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril];
- Verificação dos requisitos de QAI, de acordo com o art. 29º do RSECE [Dec. Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

Na figura 5-1 encontra-se representada a localização do edifício em Ponte da Barca.

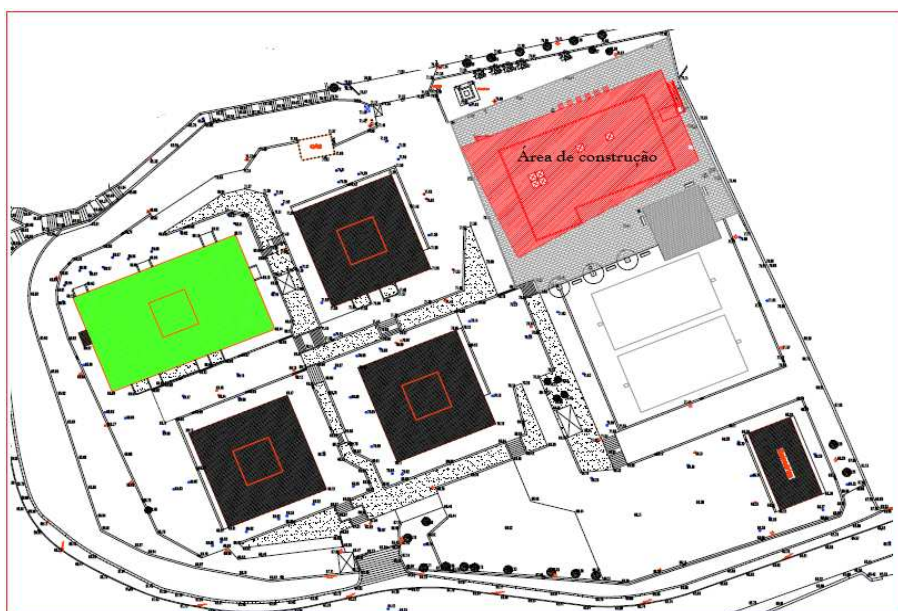


Figura 5-1: Localização construtiva do edifício

5.1. APRESENTAÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício possui 3 pisos - piso 0, piso 1 e cobertura -, cujas características são apresentadas na Tabela 5.2.

O acesso entre pisos é feito por escadas e por um elevador, para casos de mobilidade reduzida.

Piso 0	
Átrio	Casa de banho - Homens
Receção	Casa de banho - Senhoras
Sala de arrumos	Polivalente
Vestiário das crianças	Balneário Masculino
Casa de banho - crianças	Balneário Feminino
5 Salas de aulas	Central Térmica
Piso 1	
Corredor	Casa de banho - Homens
9 Salas de aulas	Casa de banho - Senhoras
3 Salas de Expressão plástica	Sala de arrumos
Cobertura	
4 Unidades de Termoventilação	Painéis Solares
2 Ventiladores de Extração	

Tabela 5.2: Caracterização de cada piso

5.2. SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Tendo em conta a zona climática (I₃) onde está localizada a fração autónoma, os requisitos mínimos de qualidade térmica da envolvente para elementos opacos são, de acordo com o quadro IX.1 do Dec.-Lei 80/2006, os apresentados na Tabela 5.3.

Coeficiente de Transmissão Térmica Superficial Máximo - U - [W/ m ² .°C]			
Elemento da Envolvente Opaca Exterior		Elemento da Envolvente Opaca Interior	
Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
0,90	1,45	1,20	1,90

Tabela 5.3: Coeficiente de Transmissão Térmica Superficial Máximo para a zona climática I₃

Nenhuma zona de Ponte Térmica Plana (pilares, vigas, caixas de estore) pode ter um valor de coeficiente de transmissão térmica superior ao dobro dos elementos homólogos (verticais ou horizontais) em zona corrente, respeitando sempre os valores máximos da tabela 5.3 [Dec. Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril]. Esta afirmação será provada nos conteúdos abaixo apresentados, através da relação dada pela equação 5.1 [Dec. Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril].

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

Equação 5.1: Cálculo do coeficiente de transmissão térmica – U

Do anexo 1 ao anexo 9 deste documento encontram-se representados os elementos de construção utilizados com as respectivas características térmicas de acordo com os coeficientes do ITE 50 [Santos, et al., 2006] e do RCCTE.

Relativamente ao coeficiente de transmissão térmica, verifica-se que os materiais utilizados na solução construtiva estão abaixo do valor máximo referido na tabela 5.3. O coeficiente de transmissão térmica define o grau de isolamento da estrutura. Logo, quanto menor é o seu valor, melhor isolamento terá a estrutura em causa. De forma a contribuir ainda mais para um melhor isolamento térmico, poder-se-iam selecionar materiais com uma resistência térmica mais elevada, dependendo tal seleção de uma análise de custo/benefício.

Através da fórmula apresentada na Equação 5.2, pode-se verificar em que classe de inércia térmica está inserida este edifício:

$$I_t = \frac{\sum M_{si} S_i}{A_p}$$

Equação 5.2: Cálculo da inércia térmica – It

Na tabela 5.4 apresentam-se os valores das massas dos elementos necessários para o cálculo da classe de inércia térmica. Atendendo à tabela 2.1, sendo o valor obtido superior a 400 kg/m², constata-se que a classe de inércia é forte.

M _{si} x S _i (kg)	Paredes	Exteriores	61640,14
		Interiores	127457,96
	Cobertura		75576
	Pavimentos		347964
Total			612638,1
Área do pavimento (m²)			1159,86
Inércia térmica (kg/m²)		528,20	

Tabela 5.4: Inércia térmica

5.3. REQUISITOS

Os requisitos estabelecidos pelo caderno de encargos (CE) relacionados com a climatização estão indicados através das tabelas 5.5 e 5.6. A sua manutenção é da responsabilidade da GTC.

	Caudais (m ³ /h)	
	Variável	Setpoint
UTV1	1 UTV1 CAUDAL SP	6840
UTV2	1 UTV2 CAUDAL SP	5900
UTV3	1 UTV3 CAUDAL SP	6415
UTV4	1 UTV4 CAUDAL SP	6500

Tabela 5.5: Requisitos – Caudais [Costeira, 2010]

O nível de CO₂ a manter em cada máquina é estabelecido pelo RSECE em 1800 mg/m³, o qual corresponde a um valor máximo de 1000 ppm. Na tabela 5.6 estão indicados os valores que na prática se acharam razoáveis para o sistema manter a QAI em níveis saudáveis para saúde dos utilizadores.

	CO ₂ (ppm)	
	Variável	Setpoint
UTV1	1 UTV1 SCO2 SP	700
UTV2	1 UTV2 SCO2 SP	700
UTV3	1 UTV3 SCO2 SP	800
UTV4	1 UTV4 SCO2 SP	700

Tabela 5.6: Requisitos – Níveis de CO₂ por máquina

A razoabilidade destes valores é considerada correta, uma vez que eles se situam acima do limite estabelecido. O seu não cumprimento pode causar dores de cabeça, irritação nos olhos e na garganta, fadiga, etc [ADENE, 2012].

Em relação às águas quentes, os requisitos estão descritos com maior detalhe a partir do ponto 5.6 deste trabalho.

5.4. GESTÃO TÉCNICA CENTRALIZADA – GTC

A GTC consiste num sistema que centraliza o controlo, operações e gestão energética de um edifício com o objetivo de alcançar uma operação mais eficiente [Honeywell, 2012].

Os aspetos associados à GTC foram da responsabilidade da empresa Sauter, que teve nesta obra a seguinte ordem de trabalhos:

- Engenharia: configuração, programação e parametrização dos controladores;
- Colocação em serviço (*Commissioning*), incluindo:
 - Ensaio em laboratório dos sistemas para confirmação da lógica de funcionamento e dos algoritmos específicos;
 - Ensaio de compatibilização na instalação com todos os sistemas interdependentes entre si;
 - Ensaio de *software* e integrados simulados, os quais só podem ser iniciados após a conclusão de todos os ensaios das respectivas especialidades intervenientes.
- Documentação:
 - Instruções de funcionamento do sistema Sauter;
 - Coleção de catálogos de características de todos os equipamentos que compõem o sistema;
 - Coleção de desenhos, compreendendo os esquemas de princípio do funcionamento do sistema.

O sistema adotado tem a particularidade de ter um servidor *Web* integrado (*web server*) da empresa Sauter. O sistema permite uma completa e compreensiva operação, visualização, análise e transmissão de alarmes da instalação a partir de qualquer computador ligado à *Internet*.

O *web server* é um sistema responsável por aceitar pedidos através do protocolo HTTP⁵⁹ de clientes, geralmente a partir dum navegador (*browser*), incluindo dados que geralmente são páginas *web*, tais como documentos HTML⁶⁰, em que as variáveis podem estar associadas a imagens ou não.

O comando efetua-se diretamente através da rede local (LAN⁶¹), ou, em alternativa, desde uma ligação à *Internet*. Na figura 5-1 está representada a arquitetura informática utilizada nesta obra.

Para que o controlador acima referido funcione, é necessário executar o programa de regulação e controlo da instalação através da ferramenta informática – Case Suite [Sauter, 2012].

⁵⁹ HTTP - *HyperText Transfer Protocol*, de uma forma simples o cliente *web* envia o pedido de uma operação ao servidor *web*, sendo que este responde ao pedido e de seguida encerra a ligação. Nenhuma informação sobre a solicitação do utilizador é mantida no servidor *web* [HTTP, 2012].

⁶⁰ HTML - *HyperText Markup Language*, é uma linguagem de programação concebida para permitir a criação de páginas *web*. Essas páginas podem ser visualizadas por qualquer pessoa conectada à *Internet* [Networking, 2012].

⁶¹ LAN - *Local Area Network*, é uma rede local que permite a um grupo de utilizadores próximos partilhar recursos como arquivos, impressoras, jogos ou outros aplicativos [Networking, 2012].

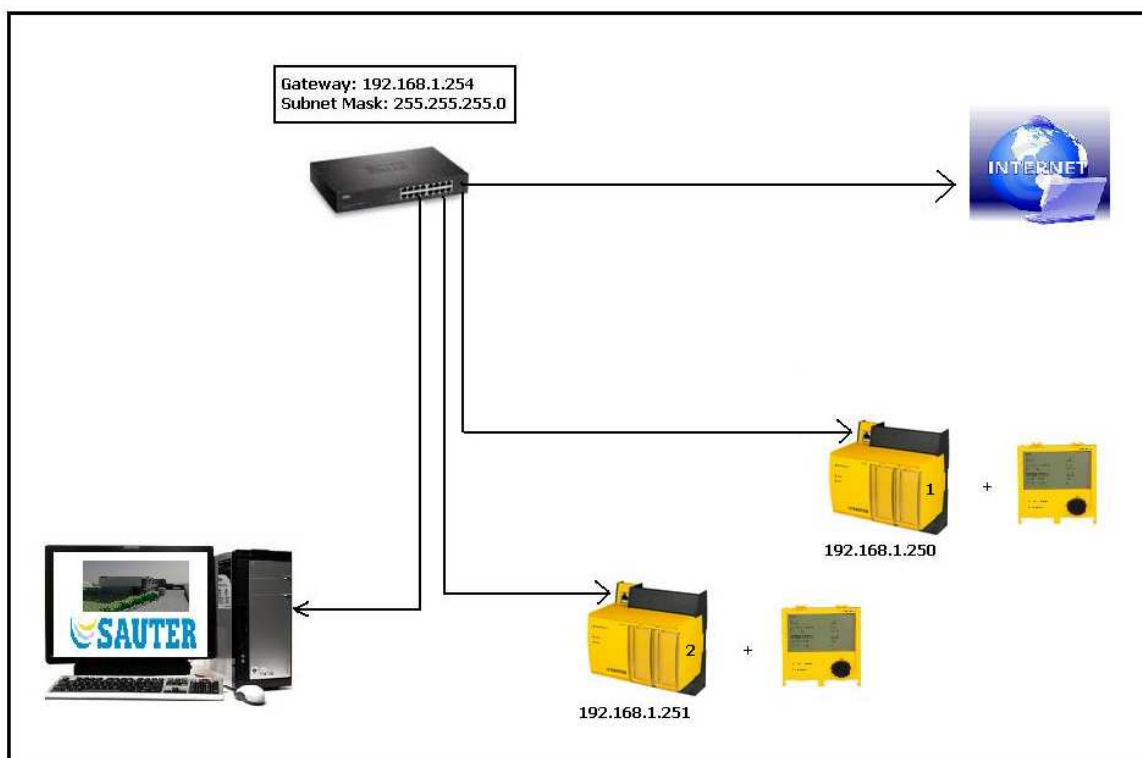


Figura 5-2: Arquitetura informática

5.5. CARACTERÍSTICAS DOS EQUIPAMENTOS

Em Ponte da Barca, a gestão contratada teve como objetivo o controlo através de dois controladores EY-AS525 [Sauter, 2012] dos seguintes sistemas e equipamentos:

- 2 caldeiras murais a gás natural:
 - Para aquecimento e produção de AQS;
 - Potência útil de 80 kW cada uma;
 - Inclui *kit* hidráulico com bomba.
- 4 unidades de termoventilação - UTV 1, 2, 3 e 4:
 - Com bateria de aquecimento;
 - Variador de velocidade para os ventiladores (insuflação e extração);
 - Roda térmica de recuperação.
- 1 Aerotermo:
 - Com 26,4kW de potência na velocidade média, e que tem como objetivo a dissipação de calor, evitando o sobreaquecimento dos painéis solares - inclui uma válvula de 3 vias para funcionamento como dissipador solar;
- 12 Painéis Solares:
 - 2,1 m² de área de absorção cada um;

- Bomba do Aerotermo;
- Painéis solares;
- Bomba dos Painéis Solares - BPS;
- Bomba (dupla) das UTV- BUTV com variação incorporada;
- Bomba (dupla) das águas quentes sanitárias - BAQS;
- Bomba de Circulação entre depósitos - BDAQS;
- Depósito de AQS:
 - 1500 l;
- Depósito de Inércia:
 - 1000 l;
- Piso Radiante (Programa horário):
 - Equipamento com controlo próprio;
- Ventiladores de extração - VE 1, 2 e 3.

5.5.1 LISTA DE PONTOS

No início de cada projeto, a GTC baseia-se sempre num conjunto de diversos fatores, de que se destacam como principais:

- Reuniões com o dono de obra juntamente com o cliente⁶²;
- CE (contém requisitos de acordo com a regulamentação adequada);
- Lista de pontos.

Para o caso da GTC, a lista de pontos é a “chave” para o controlo do edifício, ou seja, para cada equipamento existe uma correspondência de pontos a ele associados. Um outro fator essencial é a leitura do caderno de encargos, para se entender que tipo de equipamentos e de controlo será necessário fazer, bem como o diálogo entre os interessados. Na tabela 5.7 estão representados uma parte desses pontos utilizados nesta obra.

A partir do momento que se tem acesso a esta lista de pontos, a programação do controlo pode ser iniciada, com ou sem reunião prévia com o cliente.

Esta reunião tem como objetivo esclarecer pontos do caderno de encargos, bem como pormenores a ter em conta na execução do controlo, pois cada obra tem as suas particularidades. Nestas reuniões, por vezes, chega-se à conclusão que não é possível pôr em prática o que é pedido no CE. Por isso, é que se torna bastante importante que todos os interessados estejam nestas reuniões, para se poder

⁶² Cliente da GTC, normalmente é o instalador dos sistemas de AVAC.

fazer alguma modificação acordada e aprovada entre todos, em conformidade com a regulamentação. No anexo 10 encontra-se apresentada a lista de pontos que foi utilizada nesta obra.

Descrição	ED	ED _i	SD	EA _p	EA _a	SA
Q.E.AVAC						
Geral						
Temperatura Exterior e Humidade Exterior					2	
Caldeira						
Indicação modo manual/automático	1					
Permissão de funcionamento *			1			
* Encravamento no QE						
Alarme Geral	1					
Temperatura ida da água quente				1		
Temperatura retorno da água quente				1		

Tabela 5.7: Lista de Pontos – Ponte da Barca [Sauter, 2012]

5.5.2 DESCRIÇÃO DA GTC

Para que realmente se entenda o que a GTC faz neste edifício, é apresentada uma breve descrição funcional deste sistema.

5.5.2.1 CALDEIRA

O arranque automático deste equipamento é feito via programa horário, configurável via consola ou *Web page*, bastando para isso que o equipamento se encontre em modo automático, definido no quadro elétrico através do seletor Manual/Automático, e que as seguintes condições sejam verdadeiras:

- Regime de Funcionamento selecionado para inverno;
- Condições do Depósito de AQS – ver ponto 5.5.2.5;
- Uma das UTV esteja atuada.

O regime de funcionamento (verão/inverno) é selecionado de forma manual através de uma variável configurável através da consola ou da página *web*.

5.5.2.2 UNIDADES DE TERMOVENTILAÇÃO - UTV

Estas máquinas têm como objetivo fazer a renovação do ar, controlando a QAI na extração, e o controlo da temperatura a insuflar. Este sistema apenas foi integrado para necessidades de aquecimento. Logo, quando se estiver em regime de arrefecimento, o controlo de temperatura simplesmente estará desligado, permitindo apenas que seja feita a renovação de ar. As UTV (figura 5-3) irão ligar sempre que as seguintes condições sejam verdadeiras:

- Posição dos seletores dos ventiladores de insuflação (VI) e extração (VE) em automático;
- Temperatura de ida no coletor de água das UTV superior a 40 °C. A caldeira terá de aquecer a água até chegar ao coletor existente no exterior junto a estas máquinas, de forma a garantir a sensação de aquecimento na insuflação;
- Regime de funcionamento em inverno (controlo de temperatura ativo e QAI), ou, regime de verão (apenas ativo o controlo da QAI);
- Programa horário da respetiva UTV ativo.



Figura 5-3: Unidade de termoventilação e alguns componentes

No verão, estas máquinas têm como objetivo ventilar, ou seja, renovar o ar de acordo com os caudais estabelecido no RSECE, tendo como base de funcionamento o nível de CO₂. De forma a poupar energia, as bombas (BUTV) de água respetivas que alimentam as baterias das UTV estarão desligadas neste regime. Assim, se o nível de CO₂ ultrapassar o desejado ou se a temperatura de retorno for maior que temperatura exterior, a máquina ligar-se-á.

A existência dos variadores tem como objetivo garantir o caudal nominal no grupo de salas associadas a cada máquina. O controlo da variação de velocidade rege-se a partir do valor máximo da lógica dos seguintes processos:

- O nível de CO₂ serve como um indicador de odor corporal humano. À medida que a QAI vai diminuindo, os variadores irão aumentar a sua frequência proporcionalmente a essa degradação. Estes ajustes são feitos a partir da variável de *setpoint* para cada máquina;
- Estas máquinas funcionam sempre a um caudal constante de acordo com o caudal de projeto pretendido.

O controlo de temperatura das UTV é feito pela temperatura de insuflação em função da temperatura exterior, atuando automaticamente na respetiva válvula modulante de acordo com a temperatura de *setpoint* que se pretende insuflar. Neste tipo de soluções de climatização é normal ter-se uma UTV ou UTAN, que fornece ar novo pré-climatizado a uma ou mais zonas, e as unidades terminais, que neste caso são o piso radiante, corrigem localmente para a temperatura de conforto.

De acordo com a legislação [Dec.-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril], os *setpoints* de temperatura são: verão (24 °C); e inverno (20 °C), podendo estes ser alterados de acordo com as pretensões do utilizador.

Nestas máquinas existem rodas térmicas de forma a recuperar a energia térmica - *Free Heating*:

- Sempre que a temperatura de retorno seja superior à temperatura exterior, a roda será acionada, possibilitando o auxílio para que o controlo seja mais rápido, ou seja, reduz-se o tempo de utilização da válvula, obtendo-se assim um menor consumo de água quente.

A entrada de água quente nas baterias é controlada por válvulas modulantes (figura 5-4: BUN) que através dos atuadores (figura 5-4: AVM105S) fazem um controlo de 0 a 100% da abertura, a que corresponde um sinal de 0 a 10 V na saída do DDC⁶³ da GTC.

O gráfico 5-1 ajuda a entender a filosofia de controlo de temperatura residente nas UTV. Sempre que a temperatura na insuflação sai da zona do *setpoint*, o DDC envia um comando (0 a 10 V) ao atuador para a válvula abrir. Esse processo é mais rápido à medida que a temperatura se afasta da temperatura desejada.

É de relembrar que a roda térmica tem uma resposta mais rápida, de forma a ajudar a que a temperatura seja mais rapidamente alcançada.

⁶³ *Direct Digital Control* (DDC), são controladores normalmente utilizados na área do AVAC e que contém funções especiais para o controlo deste tipo de sistemas.



Figura 5-4: Válvula modulante do tipo BUN e o respetivo atuador AVM105S [Sauter, 2012]

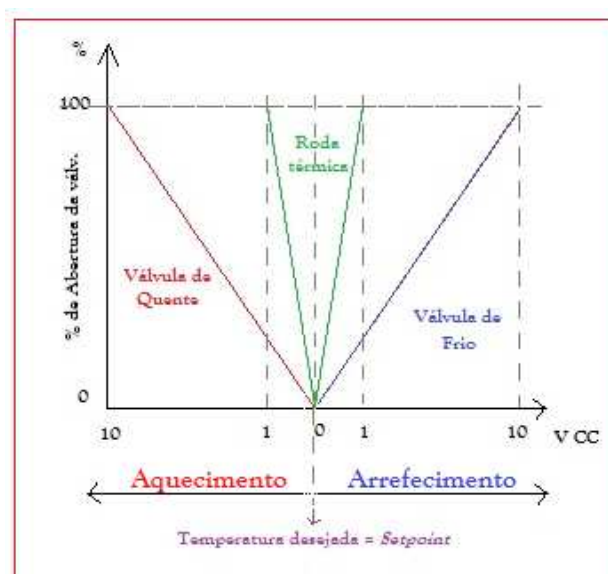


Gráfico 5-1: Relação entre a abertura da válvula e o sinal da GTC

De forma a complementar a explicação do gráfico 5-1, é apresentado no gráfico 5-2 um exemplo de um controlo de temperatura, em que a temperatura desejada é de 19,8 °C.

É perceptível que a resposta da temperatura do gráfico 5-2 advém de um controlo PID (*Proportional - Integrative - Derivative*). Com o controlo proporcional, a resposta é função do desvio da temperatura a controlar a partir da temperatura desejada. Teoricamente, à medida que a temperatura estabiliza, o controlo fica com um espaçamento entre o valor da estabilização e o valor do *setpoint*, chamado *offset*. Com a implementação da ação integrativa, este espaçamento é eliminado, fazendo com que a temperatura fique sobreposta ao valor desejado. No entanto, ao longo do tempo, esta ação integrativa

aumenta o *overshoot*⁶⁴. Com a adição da ação derivativa diminui-se o *overshoot*, aumentando o ganho [Sauter, 2012].

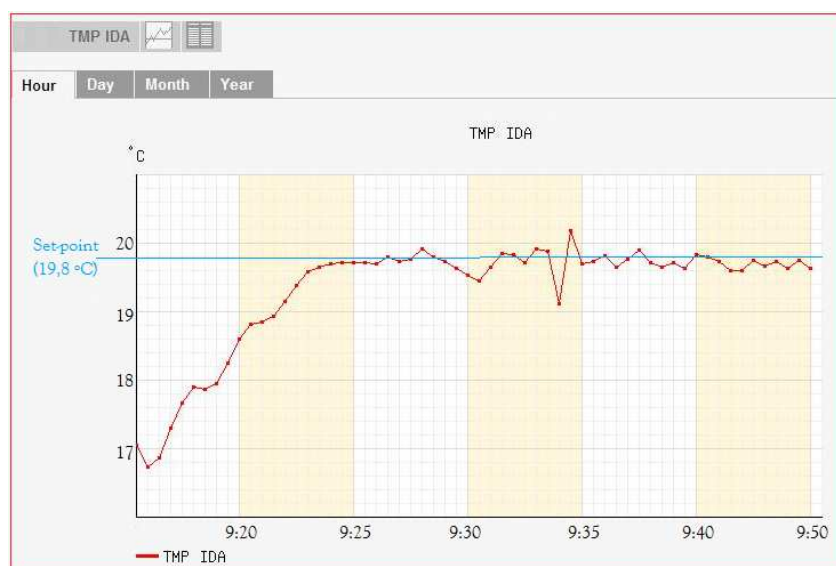


Gráfico 5-2: Exemplo da resposta de um controlo de temperatura (adap.) [Sauter, 2012]

5.5.2.3 PAINÉIS SOLARES

O Sistema Solar permite oferecer o máximo de conforto na produção de água quente, de forma simples e eficiente [ADENE, 2012]. Este sistema otimiza as trocas de calor para as AQS, pois recebe a água fria da rede, fornecendo-lhe a energia captada nos coletores. Consegue-se, deste modo, um aproveitamento máximo do rendimento do sistema solar térmico.

Este sistema fornece:

- Aquecimento para a água quente sanitária;
- Água quente ao piso radiante para garantir um ótimo aproveitamento da energia solar, contribuindo assim para uma máxima poupança energética.

O sistema solar térmico está sempre dependente das condições de radiação disponíveis, pelo que existe um sistema convencional de apoio, como complemento para a produção de AQS. Neste sistema, quando a energia solar não estiver disponível ou não for suficiente, a produção de energia térmica será efetuada por intermédio da caldeira associada ao depósito 2 (DAQS 2) instalado no circuito de abastecimento de AQS.

⁶⁴ *Overshoot*, normalmente é a designação que se dá aquando da ultrapassagem do valor desejado num controlo em malha fechada [PID, 2012].

O aerotermo é um sistema associado ao sistema solar que tem como função a dissipação do calor em excesso que possa existir nos painéis, para que uma temperatura demasiado elevada não os danifique. Este sistema atuará sempre que:

- A temperatura média dos painéis seja superior a uma temperatura predefinida como máxima admissível (120 °C);
- A temperatura de cada um dos depósitos de AQS seja maior que o seu *setpoint* máximo.

Sempre que estas condições sejam verdadeiras, a respetiva bomba do aerotermo fará a circulação do fluido solar e a válvula associada a este sistema fechará o circuito hidráulico dos painéis, fazendo com que o fluido circule apenas pelo circuito do aerotermo.

O sistema terá ordem de paragem sempre que a temperatura de um dos depósitos seja inferior a 60 °C ou a temperatura dos painéis seja inferior à temperatura máxima admissível.

É importante salientar que a bomba solar que faz a circulação do fluido solar desde os painéis até aos depósitos estará a funcionar continuamente sempre que:

- A válvula do aerotermo esteja fechada em relação ao sistema de dissipação;
- E a temperatura média dos painéis seja superior à temperatura que utilizador acha mínima para o aproveitamento solar (40 °C).

Estando o edifício localizado numa zona de extremos climáticos, no pico do inverno a bomba do aerotermo ligar-se-á de forma a fazer circular o fluido, para não haver a possibilidade de congelamento deste fluido nos painéis quando a sua temperatura for inferior a 5 °C.

5.5.2.4 BOMBA DE CIRCULAÇÃO ENTRE DEPÓSITOS - BDAQS

De acordo com a figura 5-5, esta bomba tem como objetivo dar apoio ao DAQS 2 para que exista um pré aquecimento da água antes da entrada da caldeira em funcionamento, aproveitando a água aquecida vinda dos painéis solares.

Esta bomba funcionará sempre que a temperatura no depósito 1 (DAQS 1) seja superior a uma temperatura pré-estabelecida pelo utilizador do sistema, provocando a circulação da água entre o DAQS 1 e o DAQS 2.

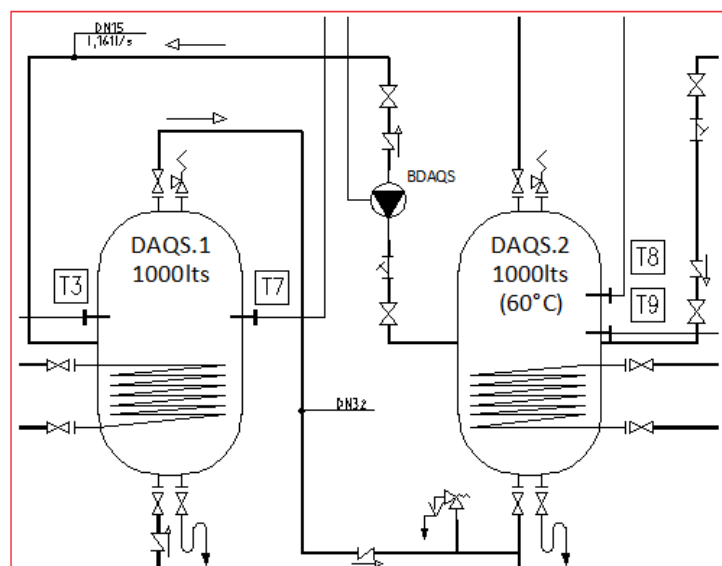


Figura 5-5: Diagrama de princípio do centro escolar de Ponte da Barca (adapt.)

No tratamento de *legionella*⁶⁵, esta bomba também entrará em funcionamento para que a água contida nos depósitos seja igualmente aquecida (acima dos 60 °C) durante um determinado período de tempo (3 vezes por semana).

5.5.2.5 DEPÓSITOS DE ÁGUAS QUENTES 1 E 2 – DAQS 1 E DAQS 2

Através do diagrama de princípio, figura 3-5, constata-se que a água que está no DAQS 1 tem um pré-aquecimento através do fluido solar que passa na serpentina do depósito. Através da condição já mencionada no ponto 5.5.2.4, a água é circulada do DAQS 1 para o DAQS 2 para tentar colocar a temperatura do DAQS 2 nos 60 °C, evitando-se assim que haja desperdício de energia através da caldeira.

Uma das funções que o DAQS 2 tem, é na eliminação de determinadas oscilações térmicas que possam existir, para que os utilizadores não as sintam.

5.5.2.6 BOMBA (DUPLA) DAS ÁGUAS QUENTES SANITÁRIAS - BDAQS

Estas bombas são responsáveis pela circulação da água quente sanitária na instalação (torneiras e chuveiros). Estas têm permissão de acionamento sempre que:

- Haja comando para o tratamento da *Legionella*;
- Se a temperatura do DAQS 2 descer 5 °C relativamente ao *setpoint* de 60 °C,

⁶⁵ *Legionella*, é uma bactéria que se desenvolve e que se multiplica a temperaturas entre os 20 e os 45 graus, destruindo-se a partir dos 70 °C num período de tempo (aprox. 2 h). A temperatura ótima de crescimento situa-se na gama dos 35 a 37 °C [Legionella, 2012].

- Temperatura da caldeira de saída descer 5 °C abaixo da temperatura de *setpoint* da caldeira.

Esta bomba funciona como um grupo, ou seja, é constituída por duas bombas em que o seu funcionamento é alternado de 6 em 6 horas.

Sempre que haja comando numa das bombas e não haja o respetivo *feedback* do estado relativo ao fluxostato⁶⁶ existente na conduta hidráulica deste grupo, a bomba que se encontra em reserva entra em funcionamento, ficando um alarme na GTC por reconhecer.

5.5.2.7 DEPÓSITO DE INÉRCIA

A válvula que se encontra associada a este depósito tem como função “regular” a temperatura da água que vai para o piso radiante.

O sistema hidráulico do piso radiante fica alimentado a partir deste depósito sempre que a:

- GTC esteja em regime de inverno;
- A temperatura de retorno do piso radiante seja menor que 25 °C;
- E se a temperatura deste depósito for superior a 30 °C.

Como o piso radiante não pode ser alimentado a partir de uma certa temperatura (40 °C), o sistema bloqueia a alimentação hidráulica.

5.5.2.8 PISO RADIANTE

A GTC não controla a temperatura do piso radiante, apenas dá o comando (alimenta) a um outro controlador, da Giacomini, para que este faça o controlo. Para isso, as seguintes condições têm de ser respeitadas:

- Regime de inverno selecionado;
- Não existir comando de *legionella*;
- Programa horário do piso radiante ativo;
- Válvula associada ao depósito de inércia aberta;
- Válvula referente ao DAQS 1 fechada.

Em cada divisão existe uma unidade de controlo de temperatura da Giacomini, associada ao piso radiante, para que os utilizadores possam selecionar o perfil mais adequado às suas necessidades.

⁶⁶ Fluxostato, é utilizado na deteção de presença ou a ausência de fluxo em vários tipos de instalações [Honeywell, 2012].

5.5.2.9 VENTILADORES DE EXTRAÇÃO 1, 2 E 3

Para cada um destes ventiladores, existe a monitorização do alarme de falta de estado/caudal e um programa horário. Para funcionar automaticamente, basta que o seletor MAN/AUTO esteja em AUTO e o programa horário ativo.

5.5.2.10 INTERFACE DA GTC

A instalação, tal como a figura 5-6 comprova, contém dois controladores EY-AS 525 da Sauter. A interface da GTC utilizada nesta instalação assume duas formas:

- Interface via *Internet*;
- Interface via consola.

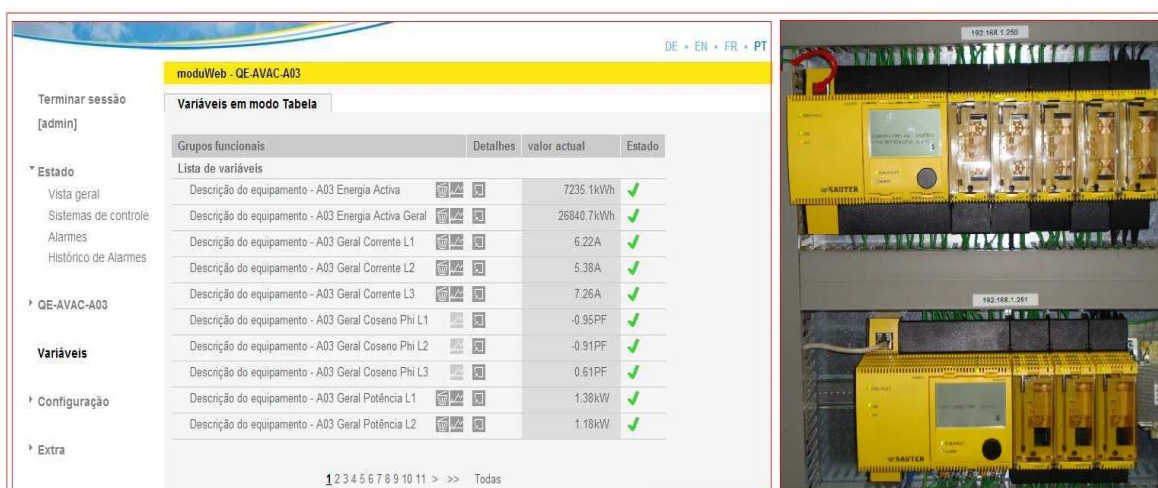


Figura 5-6: Interface via *Internet* e via consola

Relativamente às duas interfaces, todas as variáveis associadas a cada equipamento são apresentadas de acordo com a figura 5-7. Esta organização permite uma melhor facilidade de percepção no controlo das funções de cada equipamento.

5.6. CONDIÇÕES FACE AO CADERNO DE ENCARGOS

Todas as soluções sugeridas têm como objetivo a satisfação dos requisitos e a maximização da eficiência, quer em termos práticos, quer em termos financeiros. As regras acordadas e estabelecidas pelo caderno de encargos (CE) têm de ser mantidas, pois só assim é que se assegura o cumprimento do RSECE.

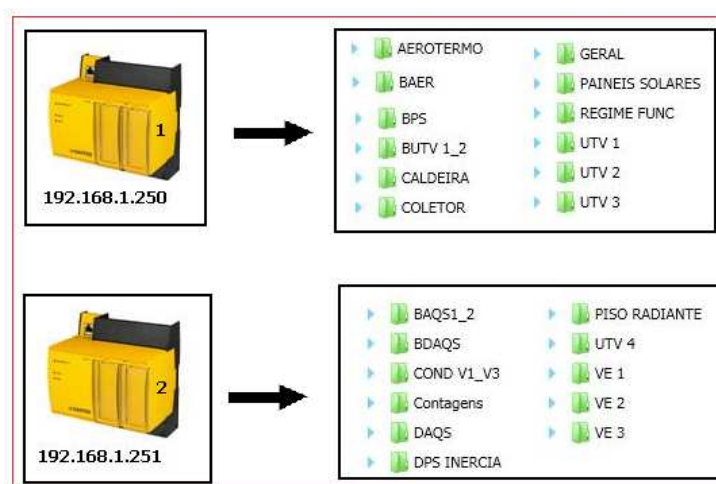


Figura 5-7: Estrutura Controladores Versus Equipamentos

5.6.1 POTÊNCIAS DE AQUECIMENTO

O cálculo das potências de aquecimento (ambiente, AQS) é da responsabilidade do projetista. Assim, e de acordo com o caderno de encargos, as potências de aquecimento estão listadas na tabela 5-8:

Valores de Potência (kW)		
Potência de Aquecimento = 82,3	Termoventilação	63,1
	Pavimento radiante	19,2
	AQS	32
	Total	114,3

Tabela 5.8: Valores de potência de aquecimento [Costeira, 2010]

Estes valores são provenientes das necessidades estimadas para este edifício [Costeira, 2010] e derivam dos cálculos efetuados e que seguidamente se detalham.

A fórmula que se utiliza para o cálculo da potência térmica é a seguinte:

$$\dot{Q} = \dot{v} \times \rho \times C_{p_{ar}} \times \Delta T$$

Equação 5.3: Cálculo da potência térmica

Em que:

- \dot{Q} – Quantidade de calor (kJ/s);
- \dot{v} – Caudal volumico (m^3/s);
- ρ – Densidade do ar a 20 °C = 1,2 kg/ m^3 ;
- $C_{p_{ar}}$ – Calor específico do ar à pressão constante = 1,005 kJ/kg.°C;

- ΔT – Diferença de temperaturas entre a temperatura interior de projeto e a temperatura de cálculo exterior (°C).

Sabendo que o fator de conversão da potência é $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 0,23901 \text{ cal/s}$, todos os cálculos foram efetuados para que a potência fosse apresentada em kW. Logo, os valores da quantidade de calor são convertidos em potência térmica.

5.6.1.1 POTÊNCIA TÉRMICA – UTV

No caderno de encargos estava incluído o relatório da simulação referente a estas máquinas. A simulação foi feita a partir do programa “*Hourly Analysis Program v.4.4*” da Carrier [CARRIER, 2012]. Na tabela 5.9⁶⁷ estão representadas as potências obtidas nesse simulador.

Potência Térmica de simulação (kW)				
UTV 1	UTV 2	UTV 3	UTV 4	Total
16,5	10,1	24,3	12,2	63,1

Tabela 5.9: Valores da potência térmica de simulação [Costeira, 2010]

A partir de dados que são fornecidos no caderno de encargos, construiu-se a tabela 5.10 com variáveis necessárias para o cálculo do caudal mínimo (insuflação e extração) que cada sala/divisão necessita.

O RSECE, no anexo VI estabelece caudais mínimos de ar novo de acordo com a atividade que o edifício terá, sendo que o caudal mínimo de ar novo correspondente a um estabelecimento de ensino é de $30 \text{ [m}^3\text{/(h.ocupante)]}$ [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

A partir deste valor pode-se calcular o nº de ocupantes por cada sala ($N_{\text{ocup}_{\text{sala}}}$) através da seguinte fórmula:

$$N_{\text{ocup}_{\text{sala}}} = \frac{\text{Área}}{\text{Ocup}}$$

Equação 5.4: Cálculo do nº de ocupantes por sala

O caudal volúmico mínimo para cada sala (v_{sala}) corresponde à multiplicação do nº de ocupantes pelo caudal mínimo referente a este tipo de atividade [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril], ou seja:

$$\dot{v}_{\text{sala}} = N_{\text{ocup}} \times Q_{\text{min}_{\text{sala}}}$$

Equação 5.5: Cálculo do caudal volúmico mínimo para cada sala

⁶⁷ Para que seja mais facilmente visível, utilizaram-se diferentes cores para distinguir as UTV.

	Salas	Área	Ocupação (Ocup) (m ² /ocupante)	Caudal mínimo de ar novo (Q _{min}) [m ³ /(h.ocupante)]
Piso 1	S. Aulas 1	52,14	2	30
	S. Atividades 6	48,04	1,8	30
	S. Aulas 2	48,22	1,9	30
	S. Exp. Plástica 1	20,7	2,1	30
	S. Aulas 3	50,11	1,9	30
	S. Plástica2	14,19	2	30
	S. Aulas 4	50,87	2	30
	S. Aulas 5	50,2	1,9	30
	S. Aulas 6	50,84	2	30
	S. Aulas 7	50,64	1,9	30
	S. Aulas 8	47,9	1,8	30
	S. Exp. Plástica 3	19,99	2	30
Piso 0	S. Polivalente	198,2	2,5	30
	S. Atividades 5	48,45	1,9	30
	S. Atividades 4	49,96	1,9	30
	S. Atividades 3	52,11	2	30
	S. Atividades 2	48,36	1,9	30
	S. Atividades 1	52,08	2	30
	Receção	13,64	3,4	30

Tabela 5.10: Variáveis referentes às salas do edifício [Costeira, 2010]

Após a obtenção do caudal volúmico de cada sala, faz-se o somatório destes caudais associados à respetiva UTV. Para isso, foi necessário fazer a leitura da planta que se encontra nos anexos 11, 12 e 13. Na tabela 5.11 encontram-se os caudais volúmicos totais referentes a cada UTV.

No que diz respeito à eficiência da ventilação, visto que a extração e insuflação é feita através de grelhas colocadas no teto e a sua localização encontra-se em extremos opostos, evitando curto-

-circuitos⁶⁸ [ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010], assume-se uma eficiência de 80 % [ADENE, 2012]. Relativamente ao modo de utilização, este caso de estudo contém materiais ecologicamente não limpos, e tal como o artigo 29 ponto 3 do RSECE refere, sempre que se utilize matérias não ecologicamente limpas, os sistemas de renovação de ar devem ter um aumento de caudal (insuflação e extração) de 50% relativamente ao caudal afetado pela eficiência da ventilação [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]. Na tabela 5.11 os valores dos caudais volúmicos de cada UTV estão ponderados com as eficiências acima mencionadas.

Eficiência	Caudais Volúmicos (m³/s)			
	UTV 1	UTV 2	UTV 3	UTV 4
	1,02	1,60	0,46	1,30
80%	1,27	2,00	0,57	1,63
50%	1,78	2,81	0,81	2,29

Tabela 5.11: Caudais volúmicos totais de cada UTV

Na tabela 5.12 estão dispostas as variáveis que correspondem à diferença de temperatura entre a saída e a entrada de ar através das baterias de aquecimento de cada UTV [Costeira, 2010]. Esta diferença corresponde à quantidade de calor absorvida pelo ar para passar de uma temperatura inicial (antes da bateria) a outra temperatura final (depois da bateria).

	Densidade do ar – ρ (kg/m³)	1,2
	Consumo específico do ar – $C_{p_{ar}}$ (kJ/kg. °C)	1,0048
Diferenças de temperaturas (Exterior e Interior) – ΔT (°C)	UTV 1	7
	UTV 2	5,6
	UTV 3	11,4
	UTV 4	5,6

Tabela 5.12: Diferenças de temperatura nas baterias

Finalmente, utilizando a equação 5.3, obtém-se a tabela 5.13, que representa a potência térmica calculada.

Potência Térmica Calculada (kW)				
UTV 1	UTV 2	UTV 3	UTV 4	Total
15,08	23,72	11,13	15,46	65,41

Tabela 5.13: Potência térmica calculada

⁶⁸ Curto-circuitos de ar, correspondem a situações em que o fluxo de insuflação atinge a zona por onde é feita a extração [ADENE, 2012].

Pode-se verificar que existe uma discrepância entre os valores das respectivas UTV, comparando com a tabela 5.9, embora se tenham encontrado valores muito próximos dos simulados. Esta diferença de valores é originada pela correspondência das áreas, ou seja, para este cálculo foram usadas as áreas referenciadas na planta, enquanto que no cálculo através do programa da *Carrier* (tabela 5.7), foram usados valores de áreas que estão listados numa tabela no caderno de encargos [Costeira, 2010], os quais são diferentes em determinadas divisões.

5.6.1.2 POTÊNCIA TÉRMICA – PISO RADIANTE

Para o cálculo da potência térmica deste sistema, apenas se fez o levantamento de alguns dados que estavam incluídos no caderno de encargos. Na tabela 5.14 estão indicados os valores dos caudais para cada sala e o seu valor total.

Compartimentos	Caudal Volúmico (m ³ /s)
Receção	0,136
S. Atividades 1	0,271
S. Atividades 2	0,271
S. Atividades 3	0,271
S. Atividades 4	0,271
S. Atividades 5	0,271
S. Atividades 6	0,271
S. Aulas 1	0,271
S. Aulas 2	0,271
S. Aulas 3	0,271
S. Aulas 4	0,271
S. Aulas 5	0,271
S. Aulas 6	0,271
S. Aulas 7	0,271
S. Aulas 8	0,271
S. Exp. Plástica 1	0,104
S. Exp. Plástica 2	0,073
S. Exp. Plástica 3	0,104
S. Polivalente 1	0,948
Total	5,159

Tabela 5.14: Caudal volúmico para o pavimento radiante

Recorrendo à equação 5.3 e atribuindo 3,1 °C à diferença de temperaturas existente entre a temperatura de cálculo exterior e interior de projeto [Costeira, 2010], bem como os respetivos valores das constantes (ρ e $C_{p,ar}$), obtém-se o valor de 19,28 kW de potência térmica dos pisos radiantes.

5.6.1.3 POTÊNCIA TÉRMICA – AQS

Em relação às águas quentes sanitárias, o conceito da potência térmica segue a mesma ordem de ideias da termoventilação, ou seja, o cálculo é efetuado usando a equação 5.3 ajustada a esta situação.

Mas para que se possa entender o valor do caudal volúmico (\dot{v}) atribuído aos depósitos é necessário fazer cálculos parciais.

Para o consumo de AQS foi pressuposto (*Solterm*) [Costeira, 2010] o seguinte:

- 156 banhos por dia relativamente ao nº de utilizações dos chuveiros (N_{chuv});
- 30 l por aluno, correspondente a um banho (L_{al});
- 234 l por dia atribuídos a outros consumos (L_{out});
- 49265 kWh/ano de energia consumida prevista através do *Solterm*.

Para determinar o caudal volúmico mínimo que está associado ao sistema de AQS, hora a hora, faz-se o relacionamento das variáveis pressupostas em cima mencionadas através da equação:

$$\dot{v} = \frac{N_{chuv} \times L_{al} \times L_{out}}{h}$$

Equação 5.6: Cálculo do caudal volúmico mínimo para o sistema de AQS

A variável h , corresponde ao nº horas estimado por dia que o sistema funcionará, que neste caso se pressupôs ser de 8 h.

Assim, fazendo a correspondência das variáveis obtém-se 614,25 l para um consumo estimado para o caudal volúmico. Ou seja, por hora, o sistema, no mínimo, terá de ter este valor de caudal volúmico, que corresponde às necessidades de aquecimento de AQS desde dos 15 °C até aos 60 °C (temperatura mínima para evitar o aparecimento da *legionella*).

Na tabela 5.15 estão indicadas as constantes necessárias para que o cálculo seja feito na íntegra, bem como o resultado da potência térmica obtida.

A variável de densidade da água (ρ) corresponde ao valor que lhe é atribuído a 72,5 °C. Esta média de temperaturas corresponde à temperatura de distribuição de água (mínima e máxima) que a caldeira terá na ida e no retorno.

A energia consumida com AQS por ano tem em conta o número de horas de funcionamento associado ao perfil do estabelecimento de ensino, 1560 h num ano de atividade [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril]. Assim, a energia prevista para consumo é de 50.200 kWh/ano.

ΔT (°C) \rightarrow (60-15)	45
Densidade da água - ρ (kg/m ³) \rightarrow (80+65)/2 =72,5 °C	999,79
Calor específico da água - C_{pH_2O} (kJ/kg. °C)	4,192
Volume (m ³)	614,25
Volume (l)	0,61425
Caudal Volúmico (m ³ /s)	0,00017063
Pot. Térmica (kW)	32,18

Tabela 5.15: Potência térmica calculada para AQS

Existe uma diferença não muito significativa em relação ao valor obtido pelo *Solterm*, pois o cálculo efetuado não entra com as simulações da energia fornecida pelo coletores solares (E_{solar}), a qual varia de acordo com os perfis de cada mês do ano. O apoio da caldeira é sempre mais significativo nos meses em que a radiação solar é menor e as temperaturas médias relativamente reduzidas (Inverno).

5.7. SUGESTÃO DE MELHORIAS

Tendo sempre como objetivo a melhoria contínua no que diz respeito à eficiência energética do edifício, os aspetos mencionados são aspetos que por vezes os projetistas não se apercebem aquando da execução da obra.

Quando se está no campo, a colocar em funcionamento o que alguém idealizou, por vezes, surgem situações que poderiam ser evitadas se a aplicação fosse mais prática e não tão teórica.

As melhorias sugeridas seguem uma linha prática e consensual para este tipo de edifícios, tendo em conta igualmente os aspetos humanos relacionados com o modo de utilização.

5.7.1 RECURSOS HUMANOS

Esta instalação é abrangida pelo RSECE, logo, deve existir um técnico responsável pelo bom funcionamento dos sistemas energéticos de climatização, nomeadamente, a manutenção, a QAI, bem como a gestão da informação técnica [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

Os edifícios abrangidos pelo RSECE prevêem pelo menos um dos seguintes técnicos:

- Técnico responsável pelo funcionamento (TRF)⁶⁹;

⁶⁹ Técnico responsável pelo funcionamento, TRF, é responsável pelo bom funcionamento dos sistemas energéticos de climatização, incluindo a sua manutenção, e pela QAI, bem como pela gestão da informação técnica. Estes técnicos são

- Técnico de instalação e manutenção de sistemas de climatização (TIM II e TIM III)⁷⁰;
- Técnico da qualidade do ar interior (TQAI).

com a certeza que existe pelo menos uma pessoa acreditada para este tipo de edifícios, caso contrário será reprovada a certificação do edifício.

Torna-se caricato, aquando das formações, que as pessoas que são delegadas para receber a explicação da instalação e da GTC não sejam técnicos especializados e nem saibam muito bem porque é que estão ali.

Em várias obras, e esta não foi exceção, verificou-se a ausência de formação e conhecimento tecnológico das pessoas no que diz respeito às tecnologias de informação (TI). Isto acontece porque as pessoas ditas responsáveis e referenciadas para estas formações, são as mesmas que estavam responsáveis pelas manutenções dos edifícios anteriores, em que as TI eram escassas ou até mesmo inexistentes.

Ao existir uma evolução tecnológica nos seus postos de trabalho (edifício novo ou reestruturado), estas pessoas não se encontram preparadas nem confiantes para poder “conduzir” o edifício. Esta lacuna deve-se à falta de uma estrutura de transição, ou seja, antes de ter formação os responsáveis (ministério da educação, câmaras municipais, etc.) deveriam sensibilizar estas pessoas com ações de formação para que elas pudessem tirar o máximo de proveito, em termos energéticos e de conforto, do edifício em causa.

5.7.2 INTERAÇÃO COM O SISTEMA

Como já fora referido, o sistema contém dois tipos de acesso à GTC (consola nos controladores e via *Internet* através do IP de cada controlador).

Ao nível de operação é útil a utilização de sistemas “*user friendly*”, ou seja, sistemas de fácil perceção e interação. O sistema via consola é uma vertente relativamente barata, mas não é amigável para quem não a usa com frequência, pois a aprendizagem é bastante morosa e o formato visual é bastante limitado, no que diz respeito às dimensões.

indicados pelo proprietário, pelo locatário, ou pelo usufrutuário ao organismo responsável pelo SCE. O proprietário do edifício divulga, com carácter de permanência, a identificação do técnico responsável, em local acessível e visível [ADENE, 2012] [Dec.-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril].

⁷⁰ Técnico de instalação e manutenção de sistemas de climatização. TIM II, acompanha a montagem e manutenção dos sistemas de climatização e de QAI até sistemas de 100 kW de potência térmica. Já o TIM III é responsável por sistemas a partir de 100 kW, e por um TQAI, ou por um técnico que combine ambas as valências [ADENE, 2012].

Já a interface *web* é bastante agradável, quando suportada por grafismo. A instalação em Ponte da Barca, por motivos económicos, não utiliza este tipo de interface, embora o sistema usado (EY-AS 525) permita inserir imagens tais como as que a figura 5-8 mostra.

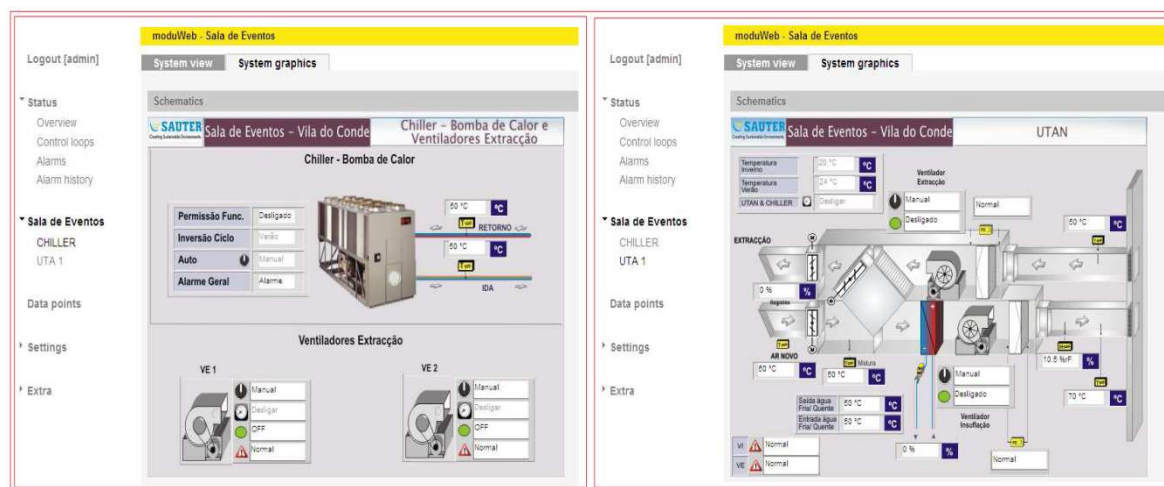


Figura 5-8: Exemplo de grafismo no controlador EY-AS 525 da Sauter [Sauter, 2012]

O fator económico é bastante importante, mas considerando que os utilizadores do sistema têm dificuldades em associar os nomes das variáveis (figura 5-6) a alguns equipamentos, pode-se dizer que a transposição gráfica do projeto seria uma escolha acertada. Esta opção seria bastante vantajosa, porque o utilizador sem grandes conhecimentos técnicos (TI e instalação) poderia tirar vantagens do sistema de gestão sem grandes dificuldades.

Uma forma de compensar este investimento gráfico seria a retirada das duas consolas dos controladores, pois estas não são tão versáteis para quem não está habituado a utilizá-las. Em termos financeiros pode-se dizer que com esta opção poupar-se-ia metade. Quer isto dizer que o preço da engenharia gráfica ficaria mais barata em detrimento das duas consolas.

Na prática, algumas pessoas que estão nestas escolas dizem que este tipo de sistemas é complicado.

Por vezes, seria bastante mais vantajoso ter apenas um controlador ou existir a possibilidade de o controlo ser efetuado de forma automática, com a interação entre os equipamentos e os utilizadores limitada por meio de comutadores (Manual - 0 - Automático) e restrita à utilização de sinais sonoros e luminosos, tal como se mostra na figura 5-9. Estes sinais poderiam estar na sala das máquinas (central), ou até mesmo no local onde a pessoa responsável normalmente se encontra a acompanhar o estado do sistema.



Figura 5-9: Layout/Painel da central da obra

Para este tipo de utilizadores, esta forma de interação com o sistema seria a mais eficaz sem colocar em causa a eficiência energética, pois o controlo dos controladores teria de ter o mesmo objetivo comparando com o que está instalado, poupando-se, no entanto, bastante na fase de projeto e compras.

5.7.3 PRODUÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA QUENTE

O sistema solar térmico tem como objetivo a produção e fornecimento de forma centralizada de AQS, captando a energia proveniente da radiação solar, acumulando essa energia em depósitos acumuladores na central térmica para alimentação da rede de distribuição da AQS. Desta forma, assegura-se uma economia na utilização do sistema convencional de apoio, caldeiras, que fica reservado para complemento de energia na preparação de AQS, quando a radiação solar não for suficiente.

O apoio funciona, exclusivamente, como complemento do sistema solar térmico, recebendo a água quente do depósito solar e assegurando o fornecimento de AQS, independentemente da radiação solar disponível, sem interrupções nem oscilações da temperatura de conforto para os utilizadores.

De lembrar que o sistema hidráulico para as UTV é independente aos 3 depósitos, ou seja, sempre que uma destas máquinas funcionar, a caldeira entra em funcionamento para elevar a temperatura, tornando o sistema bastante dispendioso energeticamente.

Em relação aos depósitos, teria sido possível simplificar e obter uma poupança inicial na instalação.

Tal como é verificado na figura 5-10, existem 2 depósitos que servem de acumuladores para AQS e um terceiro como depósito de inércia, em que o objetivo é armazenar o calor solar e apoiar a sua cedência ao sistema de aquecimento do piso radiante.

A sugestão para a produção e distribuição de água aquecida, conforme é indicado na figura 5-11, combina o aquecimento (piso radiante e UTV) num depósito (DAQS 2) em que é favorecida a estratificação da temperatura.



Figura 5-10: Acumuladores de água da obra

Por motivos lógicos, utiliza-se a serpentina localizada na parte mais baixa deste depósito para o pavimento radiante, pois as necessidades térmicas não são tão elevadas.

A serpentina de cima fica atribuída ao sistema hidráulico das UTV. Naturalmente que o sistema de apoio será a caldeira, a qual entra em funcionamento sempre que o sistema solar não consiga fornecer os 60 °C na parte superior do depósito. Neste caso, a potência da caldeira poderia ser diminuída em cerca de 20%, pois a caldeira não funcionará permanentemente sempre que as UTV se ligarem.

Neste tipo de depósitos, quando existem consumos, a entrada de água fria, de uma certa forma, poderá alterar o processo de estratificação, o que não é desejável. Assim, para mitigar esta situação, é aconselhável utilizar depósitos cuja entrada da água da rede se faça através de deflectores⁷¹, que impeçam o quanto possível a mistura com a água quente já acumulada no depósito.

Com esta aplicação, depósito estratificado, reduz-se o espaço técnico e aumenta-se o rendimento da instalação quando aplicados em simultâneo com a produção de AQS e aquecimento do ambiente [Solar Tank, 2012].

⁷¹ Deflectores são acessórios que permitem uma distribuição lenta e uniforme do fluxo de entrada de água.

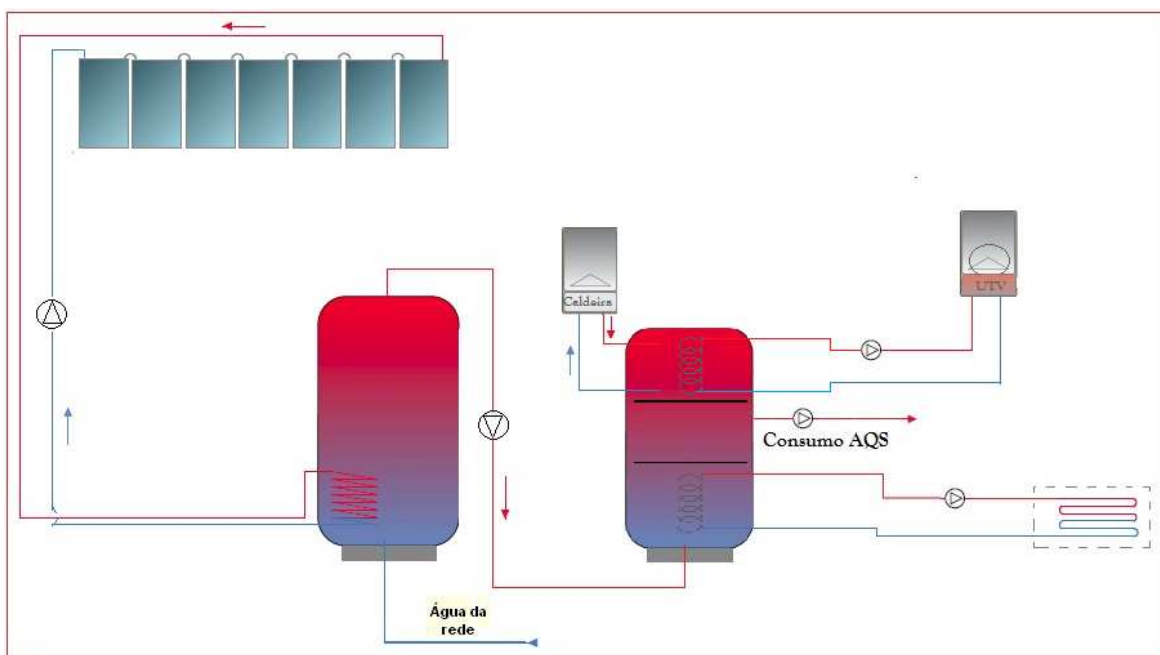


Figura 5-11: Proposta de um sistema de aquecimento de água

Experimentalmente foi verificado que no inverno o depósito solar (DAQS 1) não conseguirá obter os 60 °C. Logo, nesta proposta, a caldeira terá de aquecer até aos 60 °C o depósito estratificado e, por consequência, aquece o sistema hidráulico correspondente às UTV.

Note-se que o ideal é colocar uma válvula termostática⁷² para o consumo de AQS, para que à saída do depósito se assegure a temperatura admissível de apenas 60 °C.

Nesta proposta, o DAQS 1 apesar de estar associado ao sistema solar, tem como objetivo ser um acumulador de inércia, de forma a compensar as necessidades do DAQS 2.

De acordo com uma pesquisa na *Internet* [Depósitos, 2012], a eliminação do depósito de 1500 l e a utilização do DAQS 1 com 1500 l com serpentina e de um DAQS 2 com 1000 l com as características já mencionadas, o sistema de aquecimento ficaria mais barato em relação ao existente em cerca de 27%.

É de referir que hidráulicamente os circuitos das UTV e o piso radiante são independentes e com fluidos térmicos diferentes. Normalmente, o circuito hidráulico das unidades de termoventilação são constituídos por soluções de:

⁷² Válvula termostática, controla e limita a temperatura de água quente. Se a água quente recebida do tanque de armazenamento estiver muito quente é misturada com água fria de forma arrefecer até à temperatura pré regulada.

- Glicol⁷³ (%);
- Desincrustante⁷⁴ (%);
- Antiferrugem (%).

Já o fluido do piso radiante utiliza:

- Água (%);
- Desincrustante (normalmente a marca recomenda o seu próprio desincrustante) (%).

O facto de se eliminar um depósito de capacidade não coloca em causa a distribuição para os utilizadores, pois os balneários serão sempre usados de uma forma escalonada de acordo com as turmas e a caldeira tem capacidade para repor a energia térmica à medida que é gasta.

5.7.4 PISO RADIANTE

Esta secção serve essencialmente para demonstrar alguns pontos a favor e outros contra em relação à instalação de piso radiante.

O objetivo de qualquer piso radiante é garantir que a temperatura que o utilizador pretenda seja exatamente a temperatura que ele tenha, mantendo o conforto ao longo do tempo, podendo ser utilizados dois tipos de sistemas:

- Piso radiante elétrico;
- Piso radiante hidráulico.

Relativamente ao elétrico, este sistema tem um investimento inicial reduzido, mas consumos elevados na utilização [Radiant Heating, 2012].

No que diz respeito ao piso radiante hidráulico, este sistema tem consumos baixos e representa um investimento inicial não muito elevado nesta situação, pois a fonte de calor está associada ao sistema solar (proposta da figura 3-5).

É de referir que ao fazer este tipo de proposta (figura 5-1), dever-se-á colocar uma válvula termostática com o objetivo de limitar a temperatura de ida para o piso radiante, sabendo que a temperatura máxima admissível nestes tipos de sistemas é de 40 °C. Caso se utilizem sistemas de gestão, esta

⁷³ Glicol, consiste num anticongelante que normalmente se aplica a canalizações que estão sujeitas a intempéries no exterior [Solar Guide, 2012].

⁷⁴ Desincrustante, consiste numa solução que evita a formação de depósitos calcários, evita a corrosão das instalações e das tubagens, evita a formação de gás de reação nas instalações de aquecimento e protege os materiais ferrosos e não ferrosos [Radiant Floor, 2012.] Estas soluções são diferentes quando aplicadas a sistemas de aquecimento e piso radiante.

válvula termostática seria utilizada como segurança e preservação do piso radiante, caso a GTC não atuasse de forma correta.

O pavimento radiante torna-se viável sempre que se usa em simultâneo sistemas hidráulicos de aquecimento, pois o pavimento quando usado sem existir na obra outro tipo de aplicação, como por exemplo, aquecimento de AQS, torna-se bastante dispendioso, pois necessita de um investimento inicial bastante elevado para se adquirir a sua fonte de calor, bem como outro tipo de equipamentos associados a este tipo de situações, tais como acumuladores de água [Electric or Hydronic, 2012].

Este sistema pode melhorar a qualidade do ar muito mais do que outras alternativas de aquecimento, por exemplo, quando se usam sistemas tais como ventiloconvectores⁷⁵. O piso radiante tem um melhor controlo sobre a humidade, a qual representa a principal causa da acumulação de bactérias [Radiant Heating, 2012].

Uma das vantagens dos pisos radiantes em relação aos sistemas murais e aos de teto é que o conforto térmico é muito maior [Radiant Heating, 2012]. O conforto é mais elevado, especialmente porque o sistema fornece calor constante através da superfície do piso inteiro. A figura 5-12 ilustra o sentido do fluxo térmico no aquecimento gerado pelo piso radiante e o sentido do fluxo de um sistema de ar forçada aquando do aquecimento.

É de salientar que a seleção deste sistema confere uma alternativa esteticamente acertada, pois este não se encontra visível.

Mas nem tudo é favorável, tal como é verificado no gráfico 5-3, onde se mostra que este equipamento tem um tempo de resposta bastante longo, sendo, por isso, aconselhável que esteja operacional durante todo dia.

Para uma área de aquecimento (acima dos 1000 m²), como é o caso, até que a temperatura atinja o *setpoint*, o sistema terá de despende bastante energia. Sendo o tipo de utilização das salas pontual, este sistema terá uma estabilização também lenta. Como o edifício tem uma inércia considerada forte, é provável que a energia acumulada durante o dia demore a desaparecer durante o período de não funcionamento, e assim, no arranque, não seja necessário gastar tanta energia. Também se deve ter em atenção que de hora em hora as salas são abertas e a carga térmica desce drasticamente, e que como o tempo de resposta é lento, é provável que, por vezes, ainda se sinta algum desconforto térmico passado algum tempo após a reocupação da sala.

⁷⁵ Ventiloconvectores, também designados por *Fan Coils*, são equipamentos instalados no interior de edifícios, suspensos na parede ou no teto. O aquecimento ou arrefecimento surge aquando da circulação de água quente ou fria no ventiloconvector, proveniente do sistema de climatização (bomba de calor, caldeira, solar, etc.) [Fan Coil, 2012]. Estes equipamentos pertencem ao grupo de sistemas de ar forçado.

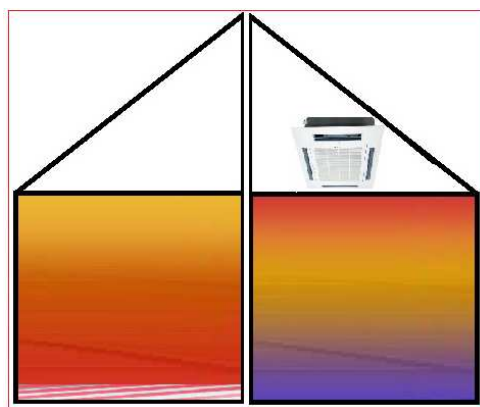


Figura 5-12: Termografia da temperatura do piso radiante e dum sistema de ar forçado

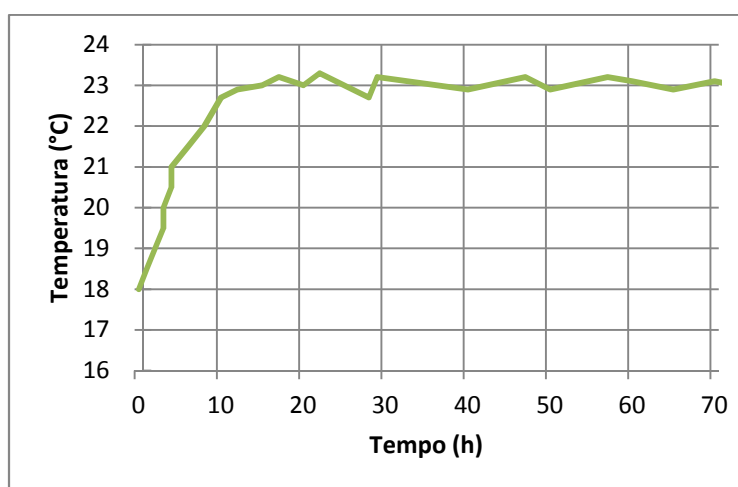


Gráfico 5-3: Resposta da temperatura do piso radiante numa divisão [Ferraro et al., 06]

5.7.4.1 ALTERNATIVAS AO PISO RADIANTE - VENTILOCONVECTOR

Tal como foi referido no ponto anterior, os ventiloconvectores são equipamentos que fornecem a temperatura de acordo com o que o utilizador deseja. Têm a desvantagem, no que diz respeito à sua manutenção, de necessitarem da substituição de filtros para que não haja libertação de fungos para o ambiente onde está instalado [Fan Coil, 2012]. Tal como sugere a figura 5-13, a água fria ou quente ao circular pelo ventiloconvector envia, através do seu ventilador, para o ar ambiente uma temperatura agradável. Este ventilador tem a possibilidade de funcionar a diversas velocidades.

Estes equipamentos são instalados no interior da habitação, suspensos na parede, ou junto ao teto. Logo, terão um custo substancialmente acrescido, pois é necessário colocar um por sala e, no caso do pavilhão polivalente, é necessário ter a contribuição de dois ventiloconvectores.

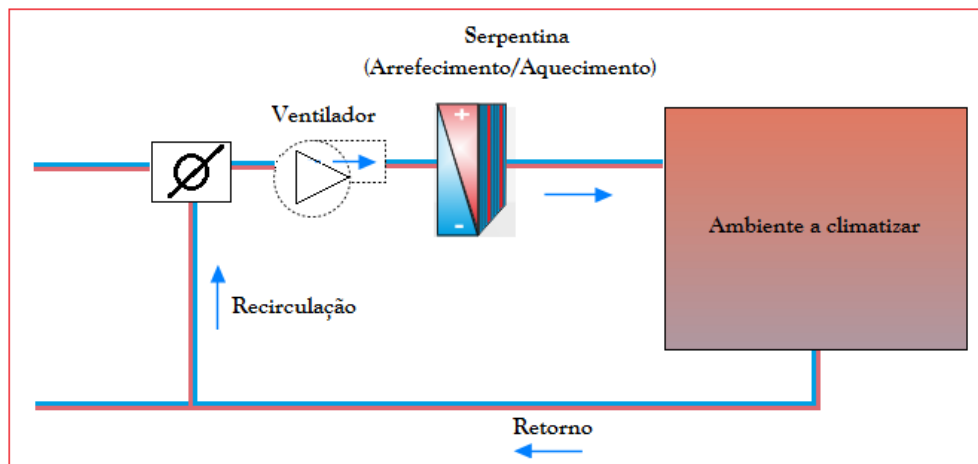


Figura 5-13: Princípio de funcionamento de um ventiloconvetor

5.7.4.2 ALTERNATIVAS AO PISO RADIANTE – RADIADOR

Com a mesma instalação hidráulica do piso radiante, os radiadores também poderiam ser uma opção viável. Em termos económicos, estes sistemas são substancialmente mais baratos. No entanto, podem ser um tanto inestéticos em certos locais. Neste caso em concreto, poderão estar sujeitos a danos (atos de vandalismo), pois encontram-se fisicamente no local e à superfície, no espaço onde se pretende usufruir do aquecimento. De acordo com o gráfico 5-4, este equipamento tem uma resposta um pouco demorada (cerca 10 h).

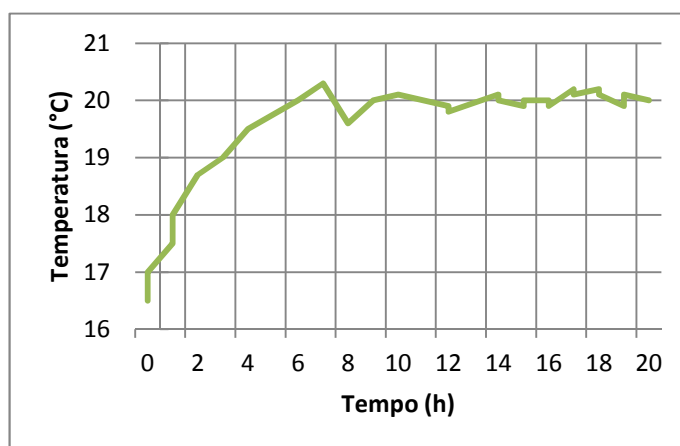


Gráfico 5-4: Resposta da temperatura de um radiador numa divisão [Ferraro et al., 06]

Os radiadores são equipamentos que na sua distribuição de calor não são tão eficientes [Radiadores, 2012]. A regulação do calor faz-se através da regulação da torneira (simples ou termostática) que controla o caudal que neles passa. Para uma redução de consumo, as torneiras termostáticas são as mais recomendáveis, pois regulam o caudal de acordo com a temperatura seleccionada [Radiadores, 2012].

5.7.5 VOLUME DE AR VARIÁVEL – VAV

O objetivo de qualquer sistema de climatização é manter a temperatura desejada num determinado compartimento. Para casos em que as cargas térmicas de diferentes divisões estão sujeitas a flutuações térmicas, como é o caso de estabelecimentos de ensino, este problema pode ser resolvido através da instalação de um sistema de controlo de ar de volume variável (VAV).

O VAV controla o ar oriundo da conduta de fornecimento, por exemplo UTA, e varia o fluxo de ar para cada divisão com base na temperatura da sala [TRANE, 2012]. Em geral, este sistema consiste, em quatro partes básicas, tal como é indicado na figura 5-14:

- Um termostato;
- Um registo modulante motorizado;
- Um sensor de fluxo/velocidade de ar;
- E um controlador.

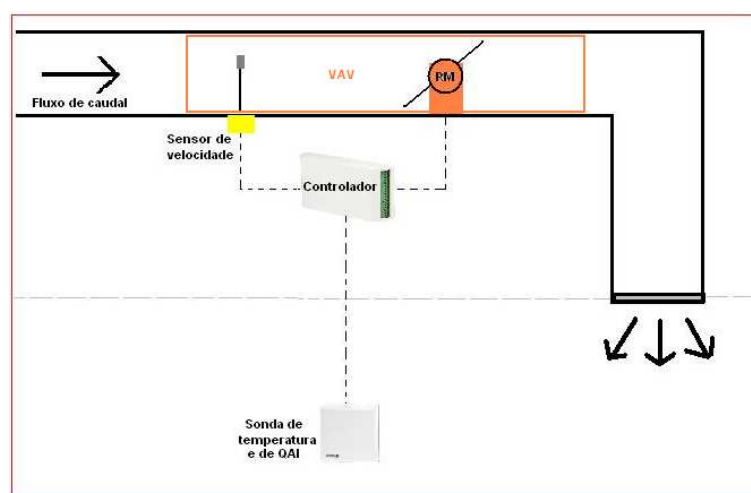


Figura 5-14: Princípio de funcionamento de um VAV

À medida que a temperatura ambiente se afasta da temperatura desejada, por exemplo, aumenta, o controlador abre o registo até que o fluxo de ar atinge um limite superior predefinido. Quando a temperatura começa a ficar próxima do *setpoint* estipulado para aquela divisão, o registo no VAV fecha para o fluxo de ar mínimo predefinido [TRANE, 2012].

Estes registos poderiam ser controlados também pelo controlo da QAI, ou seja, sempre que a QAI para cada divisão saísse da sua gama admissível, o registo abria ou fechava.

A posição aberta ou fechada do registo permite variar entre o mínimo e o máximo do fluxo de ar, de acordo com os requisitos de arrefecimento ou aquecimento durante a mudança de ambiente ou de cargas térmicas. A posição dos registos também pode ser variada a partir da QAI de cada divisão. O

controlador apenas faria a comparação do valor máximo (%) da necessidade maior (temperatura ou QAI), sem nunca colocar em causa uma das características mais importantes destes sistemas: o conforto térmico [Sauter, 2012].

Tal como sugere a figura 5-15, com este sistema poder-se-ia otimizar a instalação no que diz respeito às UTV instaladas.

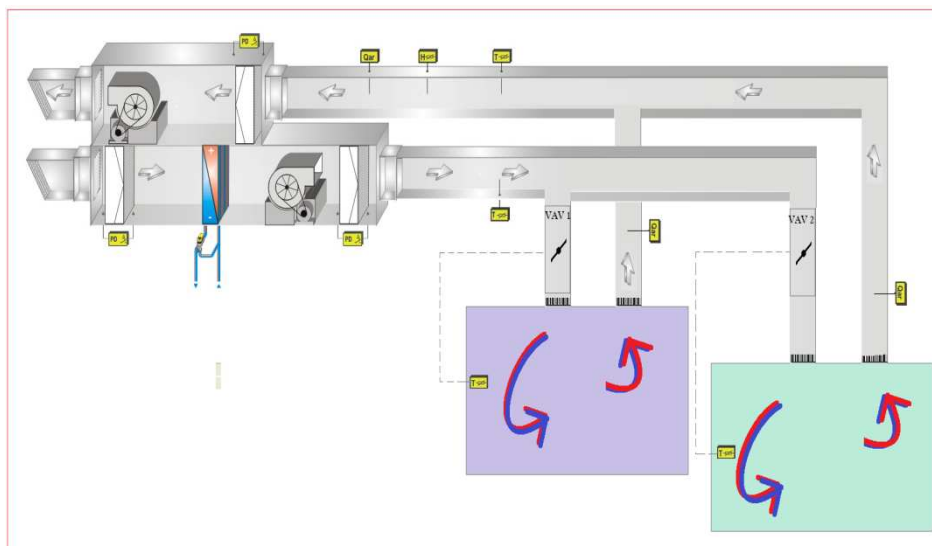


Figura 5-15: Princípio de funcionamento de um sistema com VAV

De uma forma simples, poder-se-ia reduzir a duas unidades as UTV, utilizando uma para a fachada Norte e outra para a fachada Sul. As UTV forneceriam o ar e os VAV seriam os terminais de controlo para cada divisão.

Assim, para cada divisão, o sistema permitiria:

- Renovar o ar;
- Controlar a QAI;
- Controlar a temperatura.

Claro que reduzindo duas unidades, as restantes teriam de ter o dobro das características (áreas das condutas, potências térmicas, caudais de ar, caudais hidráulicos, etc). Também é importante lembrar que ao adotar um sistema deste tipo, os ventiladores das UTV ajustariam a sua velocidade em consonância com o fecho ou a abertura de todos os terminais VAV existentes.

Em termos económicos, esta alteração (duas UTV + VAV) ficaria mais cara, comparando com as 4 UTV instaladas, mas, ao se optar por este sistema, deixaria de fazer sentido a utilização do piso radiante. Logo, o uso de VAV seria uma opção económica e fiável.

5.7.6 GTC-PROGRAMAÇÃO

Relativamente ao aproveitamento de energia, a GTC poderia ser melhorada em relação ao uso da roda térmica nas UTV. A roda térmica é uma boa solução de aproveitamento térmico. Assim, poder-se-ia implementar uma melhoria, colocando o sistema a funcionar, sempre que possível, em *free cooling*, ou seja, sempre que a temperatura de retorno fosse inferior à temperatura de insuflação, a roda térmica entraria em funcionamento, que neste caso não cooperava com o sistema de arrefecimento, pois este não é utilizado nesta instalação, mas assim ajudaria a combater o calor existente nas divisões, que em situações onde existe ocupação é bastante desagradável.

No ponto 5.5.2.3 escreve-se que a bomba solar tem um limite de funcionamento e que este valor é alterável. Todavia, qualquer valor pode ser colocado, pondo em causa o bom funcionamento do sistema. Assim, de forma a melhorar este pormenor, poder-se-ia implementar o seguinte:

- Colocar um limite mínimo admissível, ou seja, na raiz da programação (ferramenta de programação *Case Suite* da Sauter), colocar um bloqueio para valores abaixo de 40 °C;
- Ou ignorar as pretensões do utilizador e retirar essa opção de ajuste, colocando na raiz da programação o limite predefinido.

Assim, com este bloqueio, evitava-se que o sistema com uma temperatura inferior a 40 °C pudesse estar a arrefecer o DAQS 1, depois de ter estado grande parte do dia a aquecê-lo.

Uma outra sugestão passa pela monitorização temporal (um minuto) a partir do momento em que a diferença de temperatura ultrapassa os 10 °C em relação à temperatura existente no DAQS 1 e à temperatura que o sistema solar fornece. Ao fim de um minuto, com esta diferença, o sistema solar funcionaria em períodos alternados para que a temperatura nos painéis solares não se elevasse exponencialmente, evitando que o sistema se tornasse ineficiente.

6. CONCLUSÃO

Na fase inicial deste trabalho, sentiu-se alguma dificuldade para se entenderem certas questões impostas pelos regulamentos ou situações em que estes eram omissos. O trabalho evoluiu apenas após a consulta da informação existente na ADENE, mais concretamente em apêndices de perguntas e respostas. O mais “caricato” é que estes ficheiros sofrem alterações (melhorias) ano a ano, transmitindo a ideia de que o regulamento está mal estruturado, levantando mais dúvidas que aquelas que efetivamente resolve. Porque é que existe um regulamento em que tudo o que é necessário para o bom uso e aplicação não está explicitamente indicado, deixando espaço a múltiplas interpretações subjetivas e nem sempre acertadas ?

Como já fora referido, cada UTV insufla/extrai ao mesmo tempo várias zonas com as mesmas características, o que constitui um inconveniente em determinadas alturas do ano, em particular nos períodos de meia estação (outono e primavera). Geograficamente, a distribuição das condutas foi corretamente bem feita, pois como se pode verificar através dos anexos 11, 12 e 13, as divisões que estão viradas a norte são alimentadas pelas máquinas 1 e 3, enquanto que as restantes alimentam aquelas em que a distribuição é feita a sul, ou seja, as fachadas norte e sul podem ser climatizadas com características diferentes. Por vezes, enquanto na fachada norte se poderá necessitar de aquecimento, na fachada sul poder-se-á necessitar de arrefecimento. Neste caso, as válvulas das baterias fechariam colocando a(s) máquina(s) responsável(eis) pelo lado sul apenas a ventilar.

Em relação à carga térmica pontual nas divisões, não existiu qualquer cuidado na distribuição das condutas, ou seja, pode-se ter três salas na mesma fachada sem ocupação e as restantes com ocupação. Para evitar a desproporcionalidade térmica, a GTC faz o controlo de temperatura através da insuflação, pois se fizesse pela extração, o sistema ficaria bastante descompensado termicamente.

A bomba dupla de caudal variável, BUTV, é uma opção energeticamente vantajosa, pois se a pressão aumentar significa que a carga térmica está a diminuir. Por outras palavras, as válvulas nas baterias

das UTV estão a fechar ou até mesmo a máquina poderá estar desligada, proporcionando uma diminuição de calor, e, conseqüentemente, o decréscimo na velocidade da bomba.

Em termos práticos, o aerotermo chegou a funcionar em simultâneo com a caldeira, mostrando que o volante térmico do depósito associado ao sistema solar não é suficiente. Se o DAQS 1 fosse maior que 1000 l, poder-se-ia diminuir a energia térmica, limitando dessa forma o funcionamento da caldeira, poupando energia. A energia seria salvaguardada guardando-se o excesso na água. Não tendo onde guardar esse excesso, temos que a deitar fora (utilização do aerotermo em condições em que se poderia aproveitar), tal como acontece no sistema implementado, provocando um desperdício.

Neste trabalho estudou-se a regulamentação associada à eficiência energética, tendo sempre como finalidade entender os conceitos e métodos utilizados para alcançar o máximo de conforto com o melhor desempenho dos edifícios. Os grandes obstáculos encontrados durante este trabalho foram a perceção dos regulamentos bem como a conjugação desta informação com a existente na ADENE.

Com este caso de estudo, quis-se relatar e demonstrar que nem sempre o que está implícito no projeto é o mais correto e sensato, visto que em obra existem diversos fatores que condicionam a boa prática. Nesta obra em concreto, ficou-se com a ideia que objetivo comercial ficou cumprido, quer isto dizer, que as soluções apresentadas foram economicamente vantajosas para os fornecedores.

Este trabalho tem assim também como objetivo, alertar para a forma como se efetua na prática, no terreno, a implementação dos sistemas de eficiência energética, implementação essa que muitas das vezes visa mais a satisfação imediata dos interesses das várias entidades envolvidas, que o objetivo de equilibrar a racionalização energética e o conforto dos utilizadores futuros das instalações.

Várias vezes, nas formações, os formandos questionavam, se não seria melhor utilizar comutadores e de acordo com as necessidades poderiam ligar ou desligar. Por vezes, não deixavam de ter razão, pois a tecnologia que é empregue nas escolas é, por vezes, de tal forma dispendiosa e complexa na sua exploração, que na maior parte das vezes os responsáveis das escolas (diretores) não têm sequer capacidade financeira para manter os equipamentos ligados. E embora e bem, a regulamentação obrigue ao uso deste tipo de equipamentos, estruturalmente o nosso país ainda não tem capacidade para manter algumas das tecnologias empregues.

7. REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

ADENE [Em linha]. [Consult. 14 Abr. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.adene.pt>>.

ANSI/ASHRAE Standard 140-2004 Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs, 2004.

ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010 - Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers Inc., 2010.

Building Technologies [Em linha]. [Consult. 18 Mai. 2012]. Disponível em WWW:<URL:http://www1.eere.energy.gov/buildings/qualified_software.html>.

CARLO GAVAZZI [Em linha]. [Consult. 11 Mai. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.gavazzi-automation.com>>.

CARRIER [Em linha]. [Consult. 4 Sept. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.commercial.carrier.com>>.

Casa Certificada [Em linha]. [Consult. 13 Mai. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.casacertificada.pt>>.

CEMEP [Em linha]. [Consult. 3 Mai. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.cemep.org>>.

Climatização [Em linha]. [Consult. 2 Mai. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.eficiencia-energetica.com>>.

Cogeração [Em linha]. [Consult. 3 Mai. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.cogenportugal.com>>.

Costeira Empreiteiros – Memória Descritiva e justificativa do modo de execução de obra. Braga, 2010.

Decreto-Lei n.º 118/1998 de 7 de Maio – Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).

Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de Abril – Aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril – Aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e revoga o Decreto-Lei n.º 118/1998 de 7 de Maio.

Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril – Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Depósitos [Em linha]. [Consult. 21 Ag. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.cobalterm.com/Catalogo.pdf>>.

Despacho n.º 10250/2008 de 8 de Abril - Modelo dos Certificados de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior.

DGEG [Em linha]. [Consult. 30 Abr. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.DGEG.pt/>>.

Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios.

Electric or Hydronic [Em linha]. [Consult. 22 Ag. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.radiant-floor-heating.com>>.

EN 12207:2000 - Windows and doors. Air permeability. Classification, European Committee for Standardization, Brussels, 2000.

EN ISO 10211-1:1996: Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Part 1: General calculation methods, European Committee for Standardization, Brussels, 1996.

EN ISO 13370:2007 - Thermal performance of buildings - Heat transfer via the ground - Calculation methods, European Committee for Standardization, Brussels, 2007.

EN ISO 6946:2007: Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method, European Committee for Standardization, Brussels, 2007.

ENERGIA [Em linha]. [Consult. 17 Abr. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.pordata.pt>>.

Fan Coil [Em linha]. [Consult. 25 Ag. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.taftan.com>>.

Ferraro, V., Kaliakatsos, D. 2006. Project and experimental testing of the control system of an air-conditioning plant. *Energy and Buildings*, May, 2006, Vol. 38, p. 554-561.

Helder Gonçalves, Eduardo Maldonado – Manual de apoio à aplicação do RCCTE. Lisboa: INETI, 2005.

Honeywell [Em linha]. [Consult. 11 Mai. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://customer.honeywell.com>>.

HTTP [Em linha]. [Consult. 28 Jul. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.msdn.microsoft.com>>.

Legionella [Em linha]. [Consult. 27 Ag. 2012]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.dgs.pt/>>.

Networking [Em linha]. [Consult. 28 Jul. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.compnetworking.about.com>>.

NP 1037-1:2002 - Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural, IPQ, 2002.

Orientação [Em linha]. [Consult. 26 Abr. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.construcaosustentavel.pt>>.

PID [Em linha]. [Consult. 26 Ag. 2012]. Disponível em WWW:<URL: <http://www.ni.com>>.

Piedade, Canha da - Conservação de energia em edifícios, Térmica dos Edifícios. Oeiras: Alfaprint, 1996. ISBN 972-9228-70-1.

Policies [Em linha]. [Consult. 15 Abr. 2012]. Disponível em WWW:<URL: <http://ec.europa.eu>>.

Pontes Térmicas [Em linha]. [Consult. 21 Abr. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.futureng.pt>>.

PVC [Em linha]. [Consult. 29 Abr. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://http://www.cires.pt>>.

Radiadores [Em linha]. [Consult. 9 Sept. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://terryandco.hubpages.com>>.

Radiant Floor [Em linha]. [Consult. 22 Ag. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.giacomini.com/en/>>.

Radiant Heating [Em linha]. [Consult. 22 Ag. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://greenlivingideas.com>>.

Refrigeration [Em linha]. [Consult. 30 Abr. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.hawsepipe.net>>.

Rodrigues, António Moret; António Canha da Piedade; Ana Marta Braga- Térmica de Edifícios. 1^a ed. Amadora: Orion, 2009. ISBN 978-972-8620-13-4.

Santos, Carlos A. Pina dos; Luís Matias - Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios - ITE 50. Lisboa, LNEC, 2006.

Sauter [Em linha]. [Consult. 11 Mai. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.sauter-controls.com>>.

Silva, Sandra Monteiro; Manuela Guedes de Almeida - The optimization of the overall comfort in buildings, Climamed Congress. França, 2006.

Solar Guide [Em linha]. [Consult. 22 Ag. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.thesolarguide.com>>.

Solar Tank [Em linha]. [Consult. 21 Ag. 2012]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.solarserver.com>>.

Thermal Mass [Em linha]. [Consult. 1 Mai. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://precast.org>>.

TRANE [Em linha]. [Consult. 18 Mai. 2012]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.trane.com>>.

8. ANEXOS

Elemento da envolvente exterior – EL1 - Parede exterior					
Elementos construtivos [Costeira, 2010]	Condutibilidade térmica - λ (W/m.°C)	Resistência Térmica superficial - R_t (m². °C /W)	Massa volúmica - ρ (k³g/m³)	Espessura (mm)	Origem
R_{se}		0,040			RCCTE
Reboco Cimento	1,800	0,011	2000	20	ITE 50
Tijolo alvenaria furado		0,230	746	90	ITE 50
Caixa de ar		0,180		30	ITE 50
XPS	0,037	1,622	40	60	ITE 50
Tijolo alvenaria furado		0,270	695	110	ITE 50
Estuque projetado	0,560	0,036	1200	20	ITE 50
R_{si}		0,130			RCCTE
	$R_{total} =$	2,519			
	$U =$	0,40	W/m².°C		

Anexo 1: Parede exterior - Elementos construtivos

Ponte térmica – Pilar – 60 cm					
Elementos construtivos [Costeira, 2010]	Condutibilidade térmica - λ (W/m.°C)	Resistência Térmica superficial - R_t (m². °C /W)	Massa volúmica - ρ (k³g/m³)	Espessura (mm)	Origem
R_{se}		0,040			RCCTE
Reboco Cimento	1,800	0,011	2000	20	ITE 50
XPS	0,037	0,811	40	30	ITE 50
Pilar Betão Armado	2,300	0,261		600	ITE 50
Estuque projetado	0,560	0,036	1200	20	ITE 50
R_{si}		0,130			RCCTE
	$R_{total} =$	1,289			
	$U =$	0,775	W/m².°C		

Anexo 2: Ponte térmica – Pilar de 60 cm de espessura

Ponte térmica – Pilar – 50 cm					
Elementos construtivos [Costeira, 2010]	Condutibilidade térmica - λ (W/m.°C)	Resistência Térmica superficial - R_t (m². °C /W)	Massa volúmica - ρ (k³g/m³)	Espessura (mm)	Origem
R_{se}		0,040			RCCTE
Reboco Cimento	1,800	0,011	2000	20	ITE 50
XPS	0,037	1,081	40	40	ITE 50
Pilar Betão Armado	2,300	0,271		500	ITE 50
Estuque projetado	0,560	0,036	1200	20	ITE 50
R_{si}		0,130			RCCTE
	$R_{total} =$	1,569			
	$U =$	0,637	W/m².°C		

Anexo 3: Ponte térmica – Pilar de 50 cm de espessura

Ponte térmica – Pilar – 25 cm					
Elementos construtivos [Costeira, 2010]	Condutibilidade térmica - λ (W/m.°C)	Resistência Térmica superficial - R_t (m². °C /W)	Massa volúmica - ρ (k³g/m³)	Espessura (mm)	Origem
R_{se}		0,040			RCCTE
Reboco Cimento	1,800	0,011	2000	20	ITE 50
XPS	0,037	1,081	40	40	ITE 50
Pilar Betão Armado	2,300	0,109		250	ITE 50
Estuque projetado	0,560	0,036	1200	20	ITE 50
R_{si}		0,130			RCCTE
	$R_{total} =$	1,407			
	$U =$	0,711	W/m².°C		

Anexo 4: Ponte térmica – Pilar de 25 cm de espessura

Elemento da envolvente exterior – EL1 - Cobertura					
Elementos construtivos [Costeira, 2010]	Condutibilidade térmica - λ (W/m.°C)	Resistência Térmica superficial - R_t (m ² . °C /W)	Massa volúmica - ρ (k ³ g/m ³)	Espessura (mm)	Origem
Ser		0,040			RCCTE
Betonilha	1,100	0,045		50	ITE 50
EPS	0,040	1,500		60	ITE 50
Betonilha	1,100	0,045		50	ITE 50
Laje maciça	2,500	0,060		200	ITE 50
Reboco cimento	1,800	0,011	2000	20	ITE 50
R_{si}		0,170			RCCTE
	$R_{total} =$	1,931			
	$U =$	0,518	W/m ² .°C		

Anexo 5: Ponte térmica – Pilar de 25 cm de espessura

Elementos em contacto com o solo – EL2 - Pavimento em contacto com o solo					
Elementos construtivos [Costeira, 2010]	Condutibilidade térmica - λ (W/m.°C)	Resistência Térmica superficial - R_t (m ² . °C /W)	Massa volúmica - ρ (k ³ g/m ³)	Espessura (mm)	Origem
R_{se}		0,170			RCCTE
Ladrilhos cerâmicos	1,300	0,062	2300	20	ITE 50
Betonilha	0,160	0,625	500	40	ITE 50
Laje de Betão	2,500	0,080	2400	250	ITE 50
R_{si}		0,170			RCCTE
	$R_{total} =$	1,107			
	$U =$	0,900	W/m ² .°C		

Anexo 6: Pavimento em contacto com o solo

Elementos interiores da fração – EL3 – Paredes interiores 1					
Elementos construtivos [Costeira, 2010]	Condutibilidade térmica - λ (W/m.°C)	Resistência Térmica superficial - R_t (m ² . °C /W)	Massa volúmica - ρ (k ³ g/m ³)	Espessura (mm)	Origem
R _{si}		0,130			RCCTE
Estuque projectado	0,560	0,036	1200	20	ITE 50
Tijolo Alvenaria furado		0,270	695	110	ITE 50
Estuque projectado	0,560	0,036	1200	20	ITE 50
R _{si}		0,130			RCCTE
	R _{total} =	0,602			
	U =	1,661	W/m ² .°C		

Anexo 7: Paredes interiores 1

Elementos interiores da fração – EL3 – Paredes interiores 2					
Elementos construtivos [Costeira, 2010]	Condutibilidade térmica - λ (W/m.°C)	Resistência Térmica superficial - R_t (m ² . °C /W)	Massa volúmica - ρ (k ³ g/m ³)	Espessura (mm)	Origem
R _{si}		0,130			RCCTE
Estuque projetado	0,560	0,045	1200	25	ITE 50
Tijolo Alvenaria furado		0,390	695	150	ITE 50
Estuque projetado	0,560	0,045	1200	25	ITE 50
R _{si}		0,130			RCCTE
	R _{total} =	0,74			
	U =	1,351	W/m ² .°C		

Anexo 8: Paredes interiores 2

Elementos interiores da fração – EL3 – Paredes interiores 3					
Elementos construtivos [Costeira, 2010]	Condutibilidade térmica - λ (W/m.°C)	Resistência Térmica superficial - R_t (m². °C /W)	Massa volúmica - ρ (k³g/m³)	Espessura (mm)	Origem
R_{si}		0,130			RCCTE
Estuque projetado	0,560	0,045	1200	25	ITE 50
Tijolo Alvenaria furado		0,270	695	110	ITE 50
Caixa de ar		0,180		60	
Tijolo Alvenaria furado		0,270	695	110	
Estuque projetado	0,560	0,045	1200	25	ITE 50
R_{si}		0,130			RCCTE
	$R_{total} =$	1,07			
	$U =$	0,935	W/m².°C		

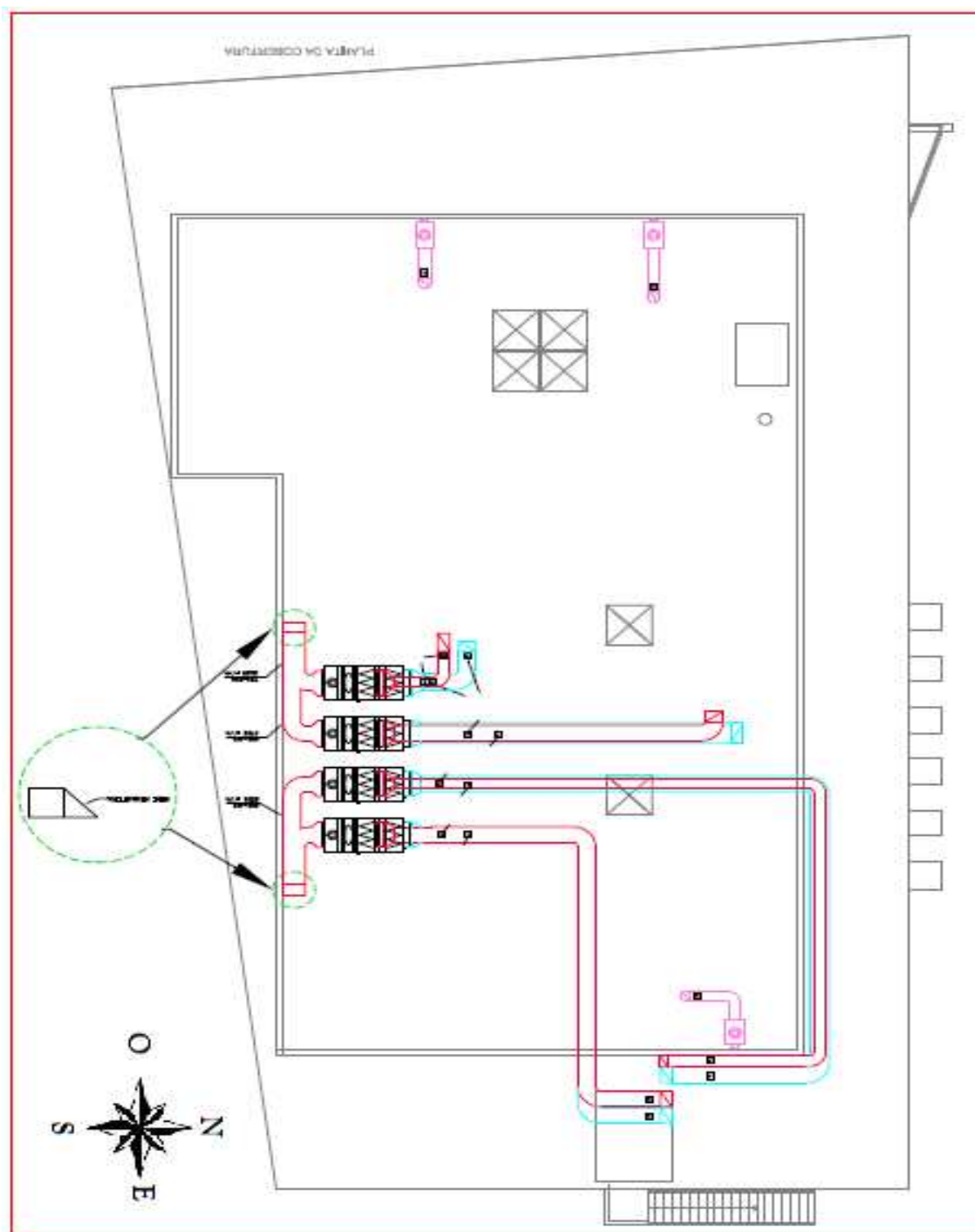
Anexo 9: Paredes interiores 3

Descrição	ED	EDi	SD	EAp	EAa	SA	EYB
Q.E.AVAC							
Geral							
Temperatura Exterior e Humidade Exterior					2		
Caldeira							
Indicação modo manual/automático	1						
Permissão de funcionamento *			1				
* Encravamento no QE							
Alarme Geral	1						
Temperatura ida da água quente				1			
Temperatura retorno da água quente				1			
BUTV.1 / BUTV.2							
Indicação modo manual/automático	1						
Permissão de funcionamento			1				
Estado	2						
Avaria	2						
Painéis Solares (x3)							
Temperatura entrada da água				3			
Temperatura saída da água				3			
BPS							
Indicação modo manual/automático	1						
Comando arranque/paragem			1				
Estado/Caudal	1						
Aerotermo							
Comando			1				
Estado	1						
Comando - Válvula de 3 vias			1				
Válvula - aberta	1						
Válvula - fechada	1						
BAER							
Indicação modo manual/automático	1						
Comando arranque/paragem			1				
Estado/Caudal	1						
Depósitos AQS							
Temperatura da água do depósito 1				1			
Temperatura da água do depósito 2				1			
Comando - Válvula de 3 vias			1				
Válvula - aberta	1						
Válvula - fechada	1						
BAAQS							
Indicação modo manual/automático	1						
Comando arranque/paragem			1				
Estado/Caudal	1						
BAQS.1 / BAQS.2							
Indicação modo manual/automático	2						
Comando arranque/paragem			2				
Estado/Caudal	2						

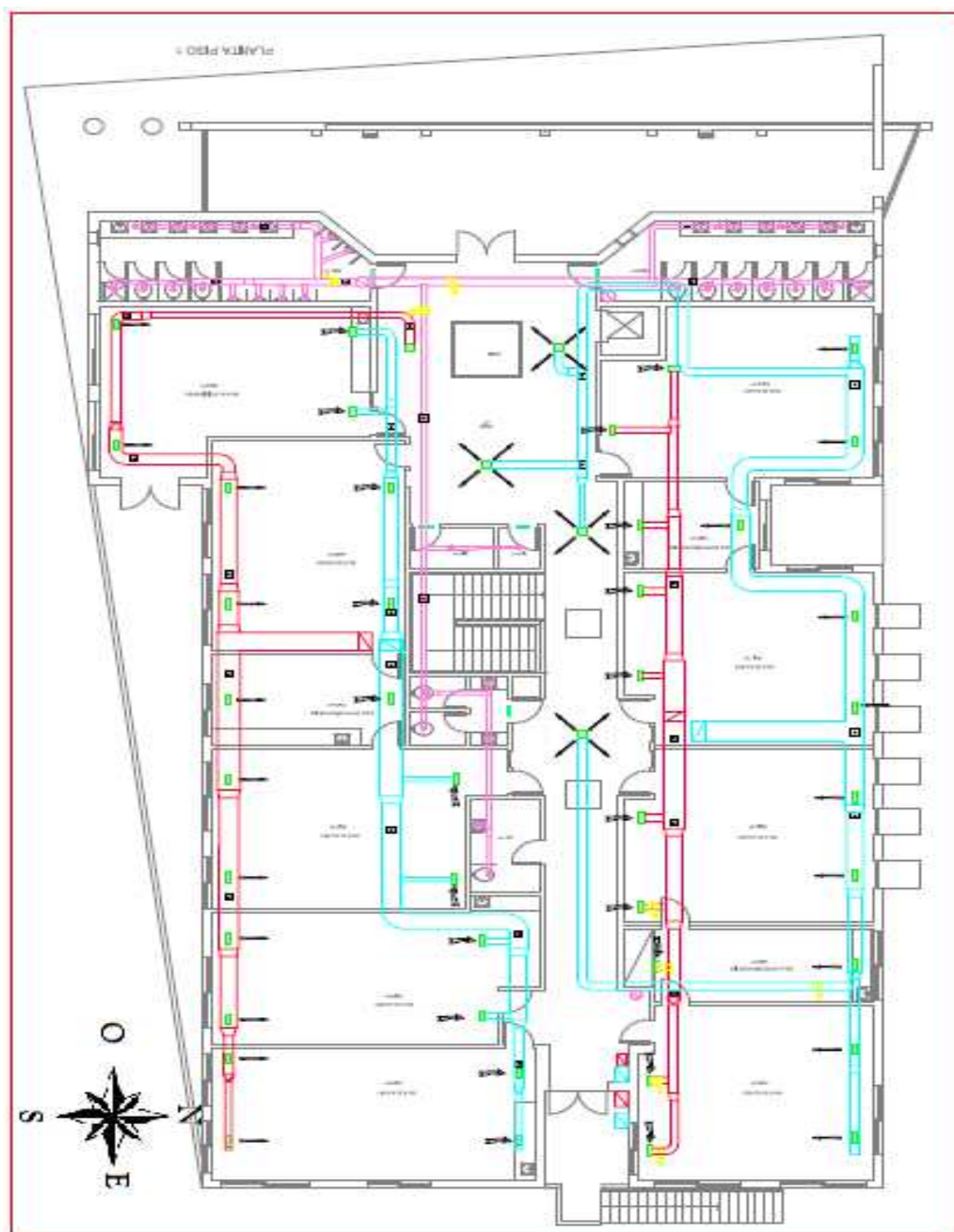
Depósito de Inércia							
Temperatura da água do depósito			1				
Comando - Válvula de 3 vias		1					
Válvula - aberta	1						
Válvula - fechada	1						
Pavimento Radiante							
Permissão de funcionamento		1					
Temperatura retorno da água quente			1				
UTV 1							
VI - Modo manual/automático	1						
VI - Comando		1					
VI - Estado	1						
VI-Varição velocidade					1		
VE - Modo manual/automático	1						
VE - Comando		1					
VE - Estado	1						
VI - Caudal de ar conduta				1			
VE-Varição velocidade					1		
Deteção de filtro colmatado	1						
Deteção de pré-filtro colmatado	1						
Temperatura de ar novo			1				
Temperatura insuflação			1				
CO2 e Temp.na conduta de retorno				2			
Comando da válvula de quente					1		
Roda térmica - Comando		1					
Roda térmica - Velocidade					1		
UTV 2							
VI - Modo manual/automático	1						
VI - Comando		1					
VI - Estado	1						
VI-Varição velocidade					1		
VE - Modo manual/automático	1						
VE - Comando		1					
VE - Estado	1						
VI - Caudal de ar conduta				1			
VE-Varição velocidade					1		
Deteção de filtro colmatado	1						
Deteção de pré-filtro colmatado	1						
Temperatura de ar novo			1				
Temperatura insuflação			1				
CO2 e Temp.na conduta de retorno				2			
Comando da válvula de quente					1		
Roda térmica - Comando		1					
Roda térmica - Velocidade					1		
UTV 3							
VI - Modo manual/automático	1						
VI - Comando		1					
VI - Estado	1						
VI-Varição velocidade					1		
VE - Modo manual/automático	1						
VE - Comando		1					
VE - Estado	1						
VI - Caudal de ar conduta				1			
VE-Varição velocidade					1		
Deteção de filtro colmatado	1						

Deteção de pré-filtro colmatado	1						
Temperatura de ar novo				1			
Temperatura insuflação				1			
CO2 e Temp.na conduta de retorno					2		
Comando da válvula de quente						1	
Roda térmica - Comando			1				
Roda térmica - Velocidade						1	
UTV 4							
VI - Modo manual/automático	1						
VI - Comando			1				
VI - Estado	1						
VI-Varição velocidade						1	
VE - Modo manual/automático	1						
VE - Comando			1				
VE - Estado	1						
VI - Caudal de ar conduta					1		
VE-Varição velocidade						1	
Deteção de filtro colmatado	1						
Deteção de pré-filtro colmatado	1						
Temperatura de ar novo				1			
Temperatura insuflação				1			
CO2 e Temp.na conduta de retorno					2		
Comando da válvula de quente						1	
Roda térmica - Comando			1				
Roda térmica - Velocidade						1	
VE's (x3)							
Indicação modo manual/automático	3						
Comando			3				
Estado	3						
Registos Corta Fogo (x4)							
Registo corta fogo - Aberto	1						
Registo corta fogo - Fechado	1						
Contagem de Energia Elétrica							
Analizador de Energia							*

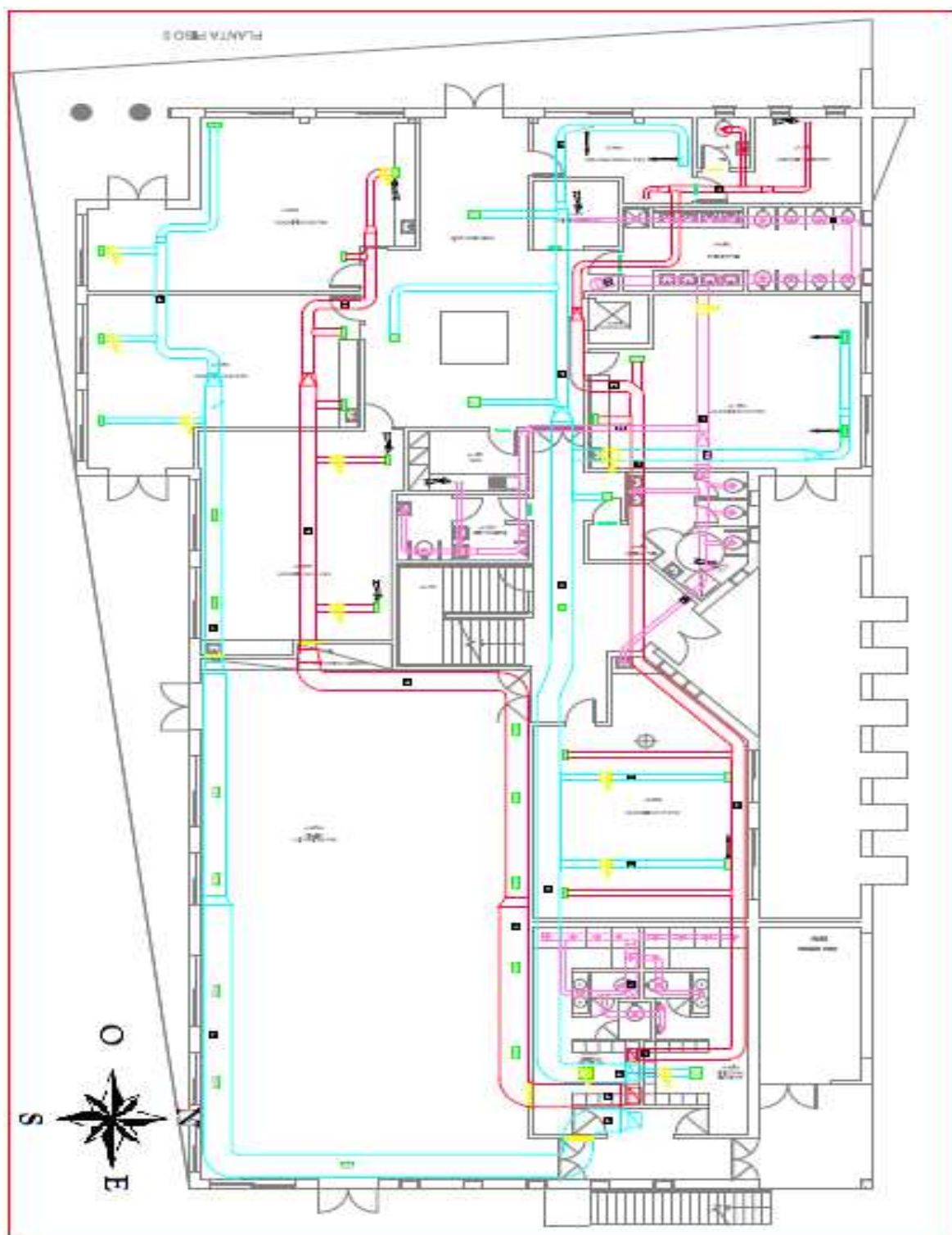
Anexo 10: Lista de Pontos (Sauter)



Anexo 11: Planta – Disposição de equipamentos – Cobertura



Anexo 12: Planta – Disposição de equipamentos e condutas – Piso 1



Anexo 13: Planta – Disposição de equipamentos e condutas – Piso 0